

**METODOLOGIAS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA EM  
SISTEMAS DE PRODUÇÃO FLORESTAL.  
Uma aplicação Geoestatística**

**Ana Paula Simões Gonçalves**

**Dissertação de Mestrado em  
Gestão do Território, área de especialização em  
Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica**

**Outubro, 2015**

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão do Território, área de especialização em Detecção Remota e Sistemas e Informação Geográfica, realizada sob a orientação científica de Dr. Jorge Ferreira e co-orientação de Dr. Abel Rodrigues.

*Versão corrigida e melhorada após a sua defesa pública*



*Aos meus Avós*  
*António e Olinda*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Eng. Abel Rodrigues pela oportunidade e confiança depositada em mim. Quero agradecer-lhe também por todo o entusiasmo, interesse, a disponibilidade e compreensão demonstrada ao longo de todo o trabalho desta Dissertação.

Ao Professor Jorge Ferreira, por todo o apoio, dedicação e compreensão durante a orientação desta Dissertação.

Ao Eng. Paulo Godinho por todo o entusiasmo e interesse no acompanhamento do trabalho.

Ao INIAV por ter facultado os dados da amostra que constitui a base deste estudo.

À minha família, por acreditarem sempre em mim e pelo apoio e orgulho incondicional durante o meu percurso académico.

À minha “família de amigos” por estarem sempre presentes, principalmente durante esta fase em que tanto precisei do seu apoio e motivação.

À Margarida, minha eterna conselheira, estrela orientadora e a irmã que eu escolhi.

Ao João meu companheiro de aventura, que juntamente com a Margarida foram os meus mentores neste projecto!

Por fim, agradeço aos meus colegas de trabalho e superiores que permitiram que esta Dissertação fosse possível.

Obrigada a todos!

## RESUMO

### METODOLOGIAS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO FLORESTAL. UMA APLICAÇÃO GEOESTATÍSTICA.

Ana Paula Simões Gonçalves

**PALAVRAS-CHAVE:** SIG, Setor Florestal, Pinheiro manso, *Pinus pinea* L., Produção de pinha, Geoestatística, *Kriging*, *Geostatistical Analyst*, Áres de previsão, Áreas de expansão.

As florestas são uma fonte importante de recursos naturais, desempenhando um papel fulcral na sustentabilidade ambiental. A sua gestão quer territorial quer económica, conduz a uma maximização da produção, sem alteração da qualidade da matéria-prima. Portugal apresenta mais de um terço do seu território coberto por floresta, apresentando uma possibilidade de aplicação de sistemas de gestão, territorial e económica que maximizem a sua produção.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são modelos da realidade em que é possível integrar toda a informação disponível sobre um assunto tendo por base um campo comum a todos as variáveis, a localização geográfica. Os SIG podem contribuir de diversas formas para um maior desenvolvimento das rotinas e ferramentas de planeamento e gestão florestal. A sua integração com modelos quantitativos para planeamento e gestão de florestas é uma mais-valia nesta área.

Nesta dissertação apresentam-se modelos geoestatísticos, com recurso a Sistemas de Informação Geográfica, de apoio e suporte à produção de pinha em Pinheiro-manso (*Pinus pinea* L.). Procurando estimar as áreas com melhor propensão à produção, a partir de dados amostrais. Estes foram previamente estudados tendo sido selecionadas quatro variáveis: largura da copa, área basal, altura da árvore e produção de pinha. A geoestatística aplicada, inclui modelos de correlação espacial: *kriging*, onde são atribuídos pesos às amostras a partir de uma análise espacial baseada no variograma experimental. Foi utilizada a extensão *Geostatistical Analyst* do *ArcGis* da ESRI, para realizar 96 *krigings* para as quatro variáveis em estudo, com diferentes parametrizações, destes foram selecionados 8 *krigings*. Com base nos critérios de adequação dos modelos e da análise de resultados da predição dos erros - *cross validation*. O resultado deste estudo é apresentado através de mapas de previsão para a produção de pinha em Pinheiro manso, em que foram analisadas áreas com maior e menor probabilidade de

produção tendo-se realizado análises de comparação de variáveis. Através da interseção de todas as variáveis com a produção, podemos concluir que os concelhos com maiores áreas de probabilidade de produção de pinha em Pinheiro manso, da área de estudo, são Alcácer do Sal, Montemor-o-Novo, Vendas Novas, Coruche e Chamusca.

Com a realização de um cruzamento de dados entre os resultados obtidos dos *krigings*, e a Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007), realizaram-se mapas de previsão para a expansão do Pinheiro manso. Nas áreas de expansão conseguimos atingir aumentos mínimos na ordem dos 11% e máximo na ordem dos 61%. No total consegue-se atingir aproximadamente 128 mil ha para área de expansão do Pinheiro manso. Superando, os valores esperados pelos Planos Regionais de Ordenamento Florestal, abrangidos pela área da amostra em estudo, em que é esperado um incremento de cerca de 130 mil hectares de área de Pinheiro manso para 2030.

## ABSTRACT

### METHODOLOGIES OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN FOREST PRODUCTION SYSTEMS. A GEOSTATISTICAL APPLICATION.

Ana Paula Simões Gonçalves

**KEYWORDS:** GIS, Forestry, Stone Pine, *Pinus pinea* L., cone production, Geostatistics, *Kriging*, Geostatistical Analyst, Forecasting Areas, Expansion Areas.

Forests are an important source of natural resources, playing an important role in environmental sustainability. Its management either territorial or economic leads to a maximization of production without changing the quality of the raw material. Portugal has more than one third of its territory covered by forest, with a possibility to apply territorial and economic management systems, that maximize the production.

Geographic Information Systems (GIS) are models of reality where you can integrate all available information on a subject based on a common field to all the variables, the geographic location. GIS can contribute in various ways to the further development of routines and tools of forest management and planning. Its integration with quantitative models for forest management is an asset in this area.

In this thesis are presented geostatistical models, using GIS, for support on cone production (*Pinus pinea* L.). Seeking to estimate the areas with better propensity to production, starting from sample data. These were first tested having been selected four variables: crown width, basal area, tree height and cone production. Geostatistics, includes spatial correlation models: *kriging*, where weights are assigned to the samples from a spatial analysis based on the experimental variogram. With *Geostatistical Analyst* from ArcGis ESRI, 96 *krigings* were performed for the four variables, with different parameterization, from those 8 *krigings* were selected. Based on the criteria of adequacy of models and prediction errors of analysis results - cross validation. The result of this study is presented through forecast maps for the cone production in stone Pine, in which were analyzed areas with higher and lower probability of production, have been held variables comparison analysis. Through the intersection of all variables with the production, we can assume that the municipalities with larger areas of cone production probability, from the study area, are Alcácer do Sal, Montemor-o-Novo, Vendas Novas, Coruche and Chamusca.

With the completion of a data matching between the results of *krigings*, and the Map of Use and Portugal Continental Land Occupancy for 2007 (COS2007), were made forecast maps for the expansion of stone Pine. In the areas of expansion we have achieved minimum increases of 11% and a maximum of around 61%. In total can be reached about 128 000 ha for the stone Pine expansion area. Exceeding the values expected by the Regional Forestry Management Plans, covered by the sample area under study, it is expected an increase of about 110 thousand hectares of stone Pine area for 2030.



## Índice

Capítulo 1 - Introdução .....	1
Capítulo 2 – SIG e Setor Florestal .....	3
2.1 Aplicação dos SIG no setor florestal.....	3
2.2 Relevância do setor florestal em Portugal.....	9
2.3 Planeamento e Política Florestal.....	11
2.4 Estratégia Nacional Florestal.....	14
2.5 Fileira do Pinheiro Manso.....	18
2.6 Caso de Estudo - Produção de pinha em Pinheiro manso .....	25
Capítulo 3 - Conceitos fundamentais de Geoestatística .....	33
3.1 Semivariograma .....	38
3.2 Tipos de Kriging.....	41
3.2.1 Ordinary Kriging.....	41
3.2.2 Simple Kriging .....	42
3.2.3 Universal Kriging.....	43
Capítulo 4 - Material e métodos.....	44
4.1 Área de trabalho e metodologia .....	44
4.2 Organização dos dados de campo .....	47
4.3 Aplicação Geostatistical Analyst .....	48
4.4 Implementação dos cálculos geoestatísticos .....	50
Capítulo 5 - Resultados e Discussão .....	58
5.1 Kriging da largura de copa (Cw) .....	59
5.2 Kriging da altura das árvores (h) .....	62
5.3 Kriging da área basal (GT).....	64
5.4 Kriging da produção de pinha (WTP) .....	66
5.5 Kriging largura de copa e produção de pinha.....	68
5.6 Kriging altura das árvores e produção de pinha.....	69
5.7 Kriging área basal e produção de pinha.....	70
5.8 <i>Krigings</i> da largura de copa, altura das árvores, área basal e produção de pinha .....	71

5.9 Análise de áreas de previsão com áreas de expansão .....	72
5.9.1 <i>Kriging</i> produção de pinha e área de expansão – Pinheiro manso.....	72
5.9.2 <i>Kriging</i> produção de pinha e área de expansão – Matos; Cortes Rasos; Vegetação Esclerófita .....	73
5.9.3 <i>Kriging</i> produção de pinha e área de expansão – Pastagens.....	74
5.9.4 <i>Kriging</i> produção de pinha e área de expansão – Pinheiro bravo .....	74
5.9.5 <i>Kriging</i> produção de pinha e área de expansão – Áreas mistas de folhosas e resinosas .....	75
5.9.6 <i>Kriging</i> produção de pinha e área de expansão – Sistemas Agroflorestais .....	77
5.9.7 <i>Kriging</i> produção de pinha e todas as áreas de expansão .....	78
Conclusões.....	80
Bibliografia.....	82
Webgrafia .....	87
Legislação.....	89
Anexos .....	91

## Índice de Figuras

Figura 1 – Distribuição dos usos do solo em Portugal continental para 2010 (IFN6, 2013).....	9
Figura 2 – Diferentes escalas de ação dos instrumentos .....	14
Figura 3 – Distribuição das áreas totais por espécie/grupo de espécies (IFN6, 2013). .	19
Figura 4 – Regiões de Proveniência do Pinheiro manso (adaptado de ICNF, 2003). ....	21
Figura 5 – Amostra: 8 concelhos, 40 parcelas. ....	26
Figura 6 – PROF's da área de estudo. ....	27
Figura 7 – ZIF's da área de estudo. ....	32
Figura 8– Anatomia de um semivariograma (Johnston, <i>et al.</i> , 2001). ....	39
Figura 9 – Tipos de Semivariograma (Bohling, 2005). ....	40
Figura 10 - Estrutura de organização dos dados. ....	46
Figura 11 – Fases do processo de Análise Geoestatística no ArcGis (adaptado Johnston <i>et al.</i> , 2001). ....	47
Figura 12 - Distribuição WTP com e sem transformação Log (ArcGis, ESRI). ....	49
Figura 13 - Lag size (ArcGis, ESRI). ....	52
Figura 14 – Histograma Cw (ArcGis). ....	60
Figura 15 – Kriging largura de copa (OK16). ....	61
Figura 16 – Kriging largura de copa (SK18). ....	62
Figura 17 – Kriging altura das árvores (OK37). ....	63
Figura 18 – Kriging altura das árvores (OK44). ....	64
Figura 19 – Kriging de área basal (OK22). ....	65
Figura 20 – Kriging de área basal (SK26). ....	66
Figura 21– Kriging produção de pinha (SK6). ....	67
Figura 22 – Kriging produção de pinha (SK8). ....	68
Figura 23 – Kriging largura de copa e produção de pinha. ....	69
Figura 24 – Kriging altura das árvores e produção de pinha. ....	70
Figura 25 - Kriging área basal e produção de pinha. ....	71

Figura 26 – Cruzamento kriging produção de pinha e área de expansão – Pinheiro manso (COS2007) .....	72
Figura 27 – Cruzamento kriging produção de pinha e área de expansão – Matos; Cortes Rasos; Vegetação Esclerófito.....	73
Figura 28 – Cruzamento kriging produção de pinha e área de expansão – Pastagens..	74
Figura 29 – Cruzamento kriging produção de pinha e área de expansão – Pinheiro bravo.....	75
Figura 30 – Cruzamento kriging produção de pinha e área de expansão – Áreas mistas de folhosas e resinosas.....	76
Figura 31 – Cruzamento kriging produção de pinha e área de expansão – Sistemas Agroflorestais.....	77
Figura 32 – Kriging produção de pinha e todas as áreas de expansão. ....	78

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Matriz estruturante do valor da floresta de Pinheiro manso (adaptado de ENF, 2006).....	24
Tabela 2 – Áreas florestais para o Pinheiro manso para os cenários “mínimo” e “máximo”, unidades: 1000ha (adaptado de ENF, 2015).....	25
Tabela 3 - Metas PROF Ribatejo (PROF Ribatejo, 2006).....	28
Tabela 4 – Metas PROF AML (adaptado PROF AML,2006).....	29
Tabela 5 – Metas PROF Alentejo Central (adaptado PROF Alentejo Central,2006).....	30
Tabela 6 – Metas PROF Alentejo Litoral (adaptado PROF Alentejo Litoral,2007).....	31
Tabela 7 – Valores médios e amplitude (min. – máx.) da amostra.....	45
Tabela 8 – Grupos definidos da COS2007 para áreas de expansão de Pinheiro manso.....	56
Tabela 9 – <i>Krigings</i> escolhidos.....	58
Tabela 10 – Especialização do território. Áreas de ocupação previstas em 2030, unidades de 10 mil hectares (ENF, 2006).....	79

## Índice de equações

(1) Fórmula base da geoestatística	35
.....	
(2) Semivariograma	38
.....	
(3) Semivariograma Esférico	40
.....	
(4) Semivariograma Exponencial	40
.....	
(5) Semivariograma Gaussiano	41
.....	
(6) <i>Ordinary kriging</i>	41
.....	
(7) Estimador <i>kriging</i>	41
.....	
(8) Fórmula base do <i>kriging</i>	42
.....	
(9) <i>Simple kriging</i>	43
.....	
(10) <i>Universal kriging</i>	43
.....	
(11) Decomposição dos erros aleatórios no <i>Simple Kriging</i>	43
.....	
(12) Diferenças em relação ao <i>Ordinary Kriging</i>	43
.....	

## Capítulo 1 - Introdução

As florestas são uma fonte de recursos naturais, desempenhando um importante papel na preservação e sustentabilidade ambiental. A sua gestão tem uma forte componente económica, procurando-se a maximização da produção e mantendo a qualidade da matéria-prima. Para Portugal, o setor da floresta assume-se como estratégico.

Portugal tem mais de um terço do seu território coberto com floresta. Este é sem dúvida um dos recursos naturais mais importantes do país que durante vários séculos sofreu alterações significativas na sua vegetação devido à ação do homem.

É de salientar que em Portugal existe uma ampla variedade de fatores que aumentam a complexidade e diversidade da floresta, nomeadamente, os dois tipos de clima (temperado com inverno chuvoso e verão seco e quente, e, temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente), a proximidade do mar, a natureza do solo e a altitude.

Nesta dissertação será focada uma só espécie o pinheiro-manso, *Pinus pinea* L., da família das *Pinaceae*, cuja distribuição geográfica global dá-se nomeadamente no sul da Europa e oeste da Ásia. Em Portugal é uma espécie certamente indígena cuja área primitiva de distribuição é hoje impossível de precisar.

No Inventário Florestal Nacional tem-se vindo a processar informação fundamental e cada vez mais esta passa pela produção de estatísticas, e de cartografia-base, sobre o estado dos recursos florestais nacionais. Segundo o último Inventário, a superfície florestal de Portugal apresenta como espécie dominante o eucalipto (812 mil ha; 26%), seguida do sobreiro (737 mil ha; 23%) e do pinheiro-bravo (714 mil ha; 23%). O pinheiro-manso, objeto de estudo deste trabalho, tem vindo a aumentar a sua área tendo-se tornado uma espécie em crescimento com um aumento de 31% num espaço temporal de 15 anos.

Nesta dissertação será aplicada a Geoestatística em sistemas de Produção Florestal para daí se conseguir um melhor e mais sustentável planeamento florestal. O processo de produção de qualquer estatística tem por base uma amostragem, a qual dará origem a resultados.

A importância do setor florestal para o país, a valorização dos recursos naturais, a aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica com a geoestatística ao setor florestal e a existência prévia de estudo estatísticos para a amostra e o gosto pessoal por desafios, no sentido de explorar áreas ainda não estudadas ao longo da formação académica foram as principais motivações do presente trabalho de investigação. Deste modo o título da dissertação que se pretende apresentar surge de forma lógica – Metodologias de Sistemas de Informação Geográfica em sistemas de produção florestal. Uma aplicação geoestatística – resumindo o âmbito do presente estudo.

O trabalho de dissertação pretende responder a três questões de partida:

1. Poderão os Sistemas de Informação Geográfica e a geoestatística apresentar melhores resultados para o estudo da produção florestal?
2. Poderá a localização geográfica influenciar a produção florestal?
3. Poderão os SIG contribuir para um melhor planeamento florestal?

Partindo do pressuposto que os SIG podem ter um contributo significativo no planeamento florestal, o trabalho de investigação tem como objetivos centrais:

- I. Análise crítica da literatura relevante sobre o setor florestal, a aplicação dos SIG no planeamento florestal, a geoestatística, e a integração destes temas num SIG.
- II. Avaliar a contribuição dos SIG e da geoestatística para a produção florestal e para o seu planeamento.
- III. Aplicar a geoestatística para criação de mapas de previsão da produção de pinha em Pinheiro manso.

A dissertação divide-se em cinco capítulos:

Capítulo 1: Introdução - Neste capítulo foi elaborada uma introdução ao tema e caso de estudo, bem como uma descrição dos objetivos a atingir e as questões de partida do estudo.

Capítulo 2: SIG e Setor Florestal – neste capítulo procedeu-se à contextualização dos SIG no setor florestal, ao enquadramento do setor no panorama nacional, à análise da relevância do Pinheiro manso para o setor e fez-se uma introdução ao caso de estudo.

Capítulo 3: Conceitos fundamentais de Geoestatística - neste capítulo realizou-se o enquadramento teórico da geoestatística a ser utilizada na dissertação.



Capítulo 4: Material e métodos - é a apresentada a amostra que constitui o caso de estudo e são apresentadas todas as fases da metodologia realizada.

Capítulo 5: Resultados e Discussão – neste capítulo são apresentados os resultados obtidos, e por fim, é apresentada a aplicabilidade dos resultados no território com o cruzamento com a Carta de Ocupação e Uso do Solo de 2007 (COS2007) para análise de áreas de expansão de Pinheiro manso.

## **Capítulo 2 – SIG e Setor Florestal**

### **2.1 Aplicação dos SIG no setor florestal**

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são modelos da realidade onde é possível integrar toda a informação disponível sobre um assunto tendo por base um campo comum a todos as variáveis – a localização geográfica.

A definição ampla de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) considera que este é um sistema de procedimentos computacionais que fornece recursos para trabalhar a entrada, armazenamento e recuperação, manipulação e análise, e, saída de dados georreferenciados (Aronoff, 1989). SIG é um sistema constituído por *hardware*, *software* e procedimentos, construído para suportar a captura, gestão, manipulação, análise, modelação e visualização de informação referenciada no espaço, com o objetivo de resolver problemas complexos de planeamento e gestão que envolvem a realização de operações espaciais (Goodchild., 1997).

O conceito de Informação Geográfica não se limita à informação cartográfica, deverá ser entendido num sentido lato que engloba todo o tipo de dados diretamente materializáveis sobre a representação cartográfica e suscetíveis de análise espacial (Julião, 1999).

Tradicionalmente a gestão florestal assumia que as complexidades territoriais do planeamento podiam ser trabalhadas durante a implementação do plano ou na fase de detalhe do planeamento operacional. Esta forma de abordagem das questões espaciais podia levar a resultados duvidosos ou planos impossíveis de implementar com sucesso (Davis, Johnson, Bettinger, e Howard, 2001). Segundo Potter, *et al.* (2000) e referido por

Twery *et al.* (2005), os sistemas de apoio à decisão de gestão florestal existentes são, na maioria, estruturas monolíticas sem padrões abertos de comunicação, de uso geral e controlo que ofereçam interoperabilidade.

A necessidade de utilização de um sistema de gestão florestal integrado com um SIG é claramente evidente (Ducheyne, De Wulf, e De Baets, 2006). Os SIG apresentam-se como uma ferramenta eficiente para a integração e classificação de dados espaciais de diferentes naturezas, deste modo, os SIG podem contribuir substancialmente para a solução de problemas de planeamento e gestão florestal (Erik Næsset, 1997).

Os recursos naturais são dependentes das dimensões espaço e tempo. Uma aplicação simples de análises espaço temporais é a utilização de dados de dois períodos de tempo distintos para detetar diferenças de uma data para outra. Por vezes, é necessário desenvolver um modelo para demonstrar como as diferenças ocorreram (Erik Næsset, 1997).

A importância dos SIG para o setor florestal é evidente e a sua utilização já é quotidiana em Portugal. Quase todas as Associações de Produtores e Proprietários Florestais têm equipas de trabalho de SIG. Estes são utilizados principalmente para:

- Recolher informação de forma direta no terreno através de GPS – Global Positioning System e para realizar levantamentos topográficos;
- Georreferenciar, vetorizar e integrar a geo-informação (delimitação de áreas para implementação de projetos, delimitação de propriedades, colocação de marcos, levantamento de áreas ardisas, infraestruturas, entre outras);
- Agregar toda a informação dos proprietários florestais de uma forma integrada e intuitiva para consulta e visualização - criação e manipulação de bases de dados geográficas;
- Executar cartografia temática variada (zonas de caça, projetos florestais e Planos de Gestão Florestal) e análise espacial;
- Facilitar o trabalho de delineamento experimental das amostragens a realizar, quer no âmbito dos inventários florestais associados à elaboração dos planos de gestão florestal e na determinação do valor provável das produções, bem como na fase de processamento dos dados recolhidos;

- Realizar estudos de deteção remota com recurso a ortofotomapas e imagens de satélite;
- Efetuar fotointerpretação;
- Modelar o território em 3D;
- Otimizar parcelários.

São diversos os estudos florestais que usam os SIG como ferramenta fundamental ao nível do inventário e monitorização de recursos mas também na análise, modelação e simulação para o apoio à tomada de decisão na gestão florestal.

Em 2009, Moreno, C., apresentou o estudo “Aplicação de SIG no processamento do Inventário Florestal Nacional – Cabo Verde”, com o objetivo de extrair, armazenar, tratar, validar e disponibilizar, de uma forma útil, e em tempo real, a informação recolhida pelos vários instrumentos utilizados num inventário florestal.

Neves, Freire, Dias, e Ribeiro, em 2008, apresentaram um estudo de desenvolvimento de um modelo de dados espaciais com recurso a SIG para contribuir para a criação de sistemas de caracterização e avaliação biofísica e socioeconómica orientados para gestão e ordenamento florestal. Criando modelos de avaliação de potencial de produção florestal, proteção, conservação, aptidão forrageira e recreio, com diversas metodologias e um conjunto extenso de tipos de informação geográfica.

A gestão e avaliações do risco de incêndio tem sido um tema muito recorrente na utilização dos SIG no setor florestal. Em 1997, Chuvieco, Salas, e Vega, apresentavam já os SIG como uma ferramenta de extrema utilidade no estudo da distribuição espacial do risco de incêndio, utilizando dados de áreas ardidas, dados topográficos, dados meteorológicos e de causas de incêndio, criaram mapas de probabilidade de expansão, perigo de combustível e de risco humano. Em Portugal foram já vários os estudos que consideraram os SIG como uma ferramenta essencial para o planeamento e gestão de meios no combate e mitigação dos incêndios florestais. Serve de exemplo o estudo apresentado por Antunes, Viegas, e Mendes em 2011 sobre a utilização de SIG para apresentar índices de perigosidade e de risco de incêndio para a área de Arganil.

A modelação e simulação espacial é outra vertente dos SIG muito utilizada no setor florestal, com estudo de definição de zonas de aptidão para determinadas

espécies, como apresentado em Dias, Ferreira, e Gonçalves, (2008) onde foram calculadas áreas de aptidão potencial para o Sobreiro, a Azinheira, o Pinheiro bravo, Pinheiro manso e Eucalipto no Alto Alentejo.

Os incêndios florestais são um dos fatores com maior peso na degradação da qualidade dos ecossistemas florestais. Os SIG têm sido amplamente utilizados na gestão florestal no que concerne à criação de cartografia de risco de incêndio, de áreas queimadas e de suscetibilidade à propagação dos incêndios florestais. A cartografia das áreas queimadas com imagens de satélite é produzida após a época de incêndios, de modo rigoroso e com um menor custo económico e temporal que os inerentes a uma cartografia realizada com trabalho de campo (Sá, 2011).

Outro tema em que a utilização dos SIG tem importância é na fitossanidade das florestas contribuindo para o seu conhecimento (inventários fitossanitários) sobre quais os agentes que criam danos na floresta, qual a sua distribuição espacial e qual a evolução dos seus níveis populacionais. De modo a permitir a delineação de estratégias de controlo dos agentes que criam danos na floresta, controlo de pragas, com recurso a parcelas de amostragem (Sousa, 2011).

A deteção remota é uma tecnologia de informação geográfica muito utilizada também em paralelo com os SIG no setor florestal, possibilitando a produção, por processos de classificação assistida, cartografia útil para a gestão florestal.

O recurso aos SIG é fundamental para avaliações de uso e ocupação do solo (Reis, R., 2014) e é também uma ferramenta para caracterizações biofísicas e ecológicas de espécies de modo a contribuir para um planeamento e gestão de programas de melhoramento e de conservação das espécies (Roque, Ricardo, e Antunes, 2014).

O maior desafio dos SIG no setor florestal, pelo menos em Portugal, prende-se com o fluxo de informação na floresta (Soares, H. 2011). A informação florestal divide-se entre entidades públicas e privadas, em micro e macro escalas, atua com fluxos de trabalho complexos e detalhados e trabalha com grandes volumes de informação, com tendência para aumento da necessidade de gestão de dados. Os sistemas de informação na floresta evoluíram sem visão corporativa ou envolvimento de Tecnologias de Informação. Os SIG podem ser a solução para os problemas de armazenamento e gestão dos dados florestais mas para isso é necessária uma utilização de parâmetros padrão

por todos os atores envolvidos para uma integração de informação. Atualmente com as ferramentas web disponíveis está facilitada esta integração de informação entre o trabalho de campo e de gabinete para análise, planeamento e melhor gestão dos recursos. A utilização de uma plataforma SIG que seja comum a todos os intervenientes no setor contribui para uma maior eficiência na sua gestão (Soares, H. 2011). A natureza espacial dos SIG torna-os apropriados para identificação de vários fenómenos dependentes do espaço, como é o caso das florestas. Os SIG podem estar diretamente ligados a ferramentas de gestão e planeamentos dos sistemas florestais e podem ser considerados uma ponte entre as bases de dados de recursos naturais e a sua gestão (Næsset, 1997). Contribuindo de várias formas para um maior desenvolvimento das rotinas e ferramentas de planeamento e gestão florestal que incluam os objetivos e constrangimentos de conservação da biodiversidade. A integração dos SIG com modelos quantitativos para planeamento e gestão de florestas a longo prazo é uma mais-valia para o setor florestal. Podendo funcionar como uma ponte entre as bases de dados dos recursos naturais e o seu planeamento (Næsset, 1997).

Os SIG no setor florestal podem ser utilizados para três tipos de finalidades – inventário, análise e gestão. A finalidade mais comum passa pela criação e atualização de cartografia de consulta (inventário). Esta funcionalidade dos SIG começou a ser amplamente explorada com a necessidade de apresentação de cartas nos estudos e projetos florestais. No entanto, existem outras aplicações dos SIG no setor florestal:

- Previsão de habitats, adequação de espécies ao território – modelos de previsão de espécies de árvores por meios topográficos ou outros derivados de uma base de dados de um SIG, já foram desenvolvidos (Næsset, 1995);
- Risco de incêndio florestal (Antunes, C., Viegas, D., Mendes, 2011) as condições biológicas são afetadas por fatores externos, como os incêndios florestais – os SIG têm sido vastamente utilizados para modelação nesta área para prevenção, monitorização e mitigação de incêndios florestais (Næsset, 1997); Identificação das áreas críticas de erosão dos solos pós-incêndios florestais (Vieira, Gonçalves, Martins, e Loureiro, 2011);
- Sistema de suporte à decisão para a gestão e planeamento da floresta a longo prazo (Næsset, 1997);

- Elaboração de cartas de aptidão agrícola e florestal municipais (Silva e Neto, 2013; Caldeira, Mestre, e Alegria, 2013);
- Apoio na operacionalização da gestão florestal, os SIG associados ao Plano de Gestão Florestal são de extrema importância, uma vez que permitem ter uma explanação espacial das ações previstas (Amaral, M. e Borges, 2013);
- Estudos sobre a utilização dos SIG sobre espécies arbóreas em centros urbanos, com o intuito de criar condições para uma otimização da gestão e planeamento destes espaços verdes (Barracosa, *et al.*, 2013);
- SIG como ferramenta de apoio à gestão de resíduos florestais, com a capacidade de integração de vários níveis de informação de carácter espacial num único modelo poderá fornecer o conhecimento aos proprietários, associações ou autarquias, sobre o potencial do mercado dos resíduos florestais, de quanto possuem, onde e quando deverão ser explorados os resíduos (Pedro, N. e Aranha, 2004).

Assim, a sua utilização verifica-se desde a simples produção de cartografia temática, com delimitação e enquadramento das diferentes propriedades florestais, até estudos mais complexos, como a elaboração de cartografia de aptidão de espécies florestais ou de risco de incêndio (Gomes, Lourenço, e Starnini, 2013)

Paralelamente aos SIG, também a geoestatística têm sido amplamente utilizada para analisar e prever os processos espaciais. Tais modelos também foram utilizados para caracterizar a variabilidade espacial de fenómenos relacionados à ecologia, tais como a vegetação (Woodcock, Strahler, e Jupp, 1988; Townshend e Justice, 1988), disponibilidade de Azoto (Robertson, *et al.*, 1988) e as propriedades do solo (Rogowski, 1996), de modo a visualizar dados ecológicos obtidos em pontos de amostragem. A geoestatística pode ser utilizada para interpolação e extrapolação espacial (Griffith, 1993).

Mais recentemente, os SIG foram utilizados para criação de modelos de florestas digitais a três dimensões, para simular ambientes de teste para planeamento e gestão florestal (Lin, *et al.*, 2012). Criando um inventário completo de toda a floresta com as coordenadas geográficas de cada árvore e as diferentes espécies, e, incluindo os aspetos estruturais do território (topografia, hidrologia, etc.). Deste modo, é possível a criação de vários cenários de simulação.

## 2.2 Relevância do setor florestal em Portugal

Segundo o último Inventário Florestal Nacional (IFN6, 2013), em 2010, o uso florestal do solo representa o uso dominante em Portugal continental, ocupando 35,4% do território, figura 1. Esta percentagem de uso florestal coloca Portugal na média dos 27 países da União Europeia (37,6%, EU commission, 2011).

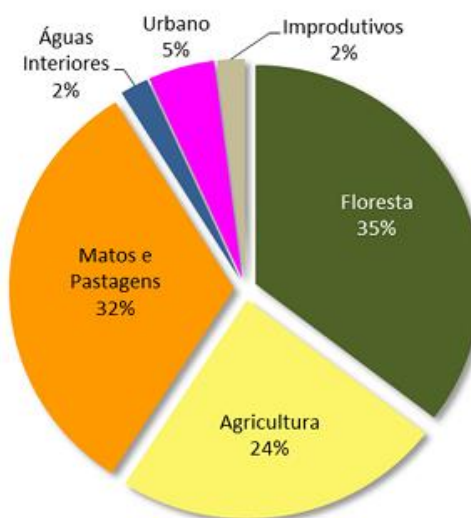


Figura 1 – Distribuição dos usos do solo em Portugal continental para 2010 (IFN6, 2013).

A floresta ocupa 3,15 milhões de hectares de território em Portugal, destacam-se o eucalipto (26%), o sobreiro (23%) e o Pinheiro-bravo (23%), que representam 72% da área total de floresta. As espécies subsequentemente mais representativas são a azinheira (11%) e o Pinheiro-manso (6%) (PDR2020, 2014).

A floresta apresenta uma forte resiliência às perturbações a que esteve sujeita ao longo dos anos, designadamente os incêndios florestais, a ocorrência de problemas sanitários, como nemátodo do Pinheiro e a perda de vitalidade dos povoamentos de sobreiro e de azinheira (PDR2020, 2014).

A floresta é um dos recursos naturais mais importantes para o país e por isso de grande relevância para a gestão do território. Os planos de ordenamento e gestão florestal são articulados com os planos de ordenamento do território.

A Lei de Bases da Política Florestal (LBPF), Lei n.º 33/96, de 17 de agosto, define as bases da Política Florestal Nacional. Estão contemplados os objetivos para o setor, todas as orientações estratégicas e instrumentos de gestão. Na Lei de Bases da Política Florestal são delineados os Planos Regionais de Ordenamento Florestal (PROF) como principal instrumento de gestão florestal.

A floresta é um capital natural e o seu valor económico corresponde ao valor atual dos bens e serviços a que dá origem (PNDFCI, 2006).

Segundo as Contas Económicas da Silvicultura 2013 (INE, 2015), o Valor Acrescentado Bruto (VAB) da silvicultura aumentou 6,0% em volume e 8,7% em valor 2013. Na silvicultura estão incluídas as atividades de produção (plantações e plantas de viveiro) e de exploração florestal (corte ou extração de madeira, extração de cortiça e outros produtos da floresta).

A Valorização dos Recursos Florestais é uma das medidas do Programa de Desenvolvimento Rural 2014-2020 (PDR 2020) em que se assume que as pequenas e médias empresas de exploração, comercialização e primeira transformação de produtos florestais têm um papel importante na economia nacional, nas economias rurais e, em algumas regiões do território, na manutenção da população rural. Esta medida pretende “contribuir para o reforço da capacidade produtiva das pequenas e médias empresas de base florestal, promovendo a requalificação do tecido empresarial, através do apoio às empresas de exploração florestal (abate, apanha ou extração), comercialização e transformação de matérias-primas provenientes de sistemas florestais ou agroflorestais, capaz de proporcionar, designadamente, o seu ajustamento tecnológico, a otimização dos fatores de rendimento e ganhos de eficiência, com vista ao aumento da competitividade do setor e à manutenção de emprego em zonas economicamente pouco favoráveis no contexto económico nacional” (PDR2020 – Medida 4).

São diversos os benefícios que as florestas Mediterrâneas representam para os seus países: a produção de madeira, os produtos florestais não madeireiros (cortiça, resina, frutos, etc.), a proteção de bacias hidrográficas, o sequestro de carbono, a conservação dos solos, a proteção da biodiversidade, bem como a recreação e lazer, são dos benefícios mais valiosos das florestas Mediterrâneas atualmente (Croitoru, 2007).



Contudo, a sua degradação principalmente pelos incêndios florestais tem sido uma realidade em Portugal, que tem tido um forte impacto nas políticas de planeamento, ordenamento e gestão florestal.

A valorização da floresta não se distingue conceptualmente da valorização do capital. A floresta é um capital natural e o seu valor económico corresponde ao valor atual dos bens e serviços a que dá origem. A informação relativa a este valor é essencial para fundamentar políticas de ordenamento e a utilização dos recursos naturais (PNDFCI, 2006)

### **2.3 Planeamento e Política Florestal**

A Lei de Bases da Política Florestal (LBPF) foi publicada em 1996, na Lei n.º 33/96, de 17 de agosto, em que se define as bases da política florestal nacional e estipula como princípios a conservação, a proteção e a gestão sustentável das florestas. Identifica como medidas de política florestal os Planos Regionais de Ordenamento Florestal (PROF) e os Planos de Gestão Florestal (PGF).

Em 1999, foi publicado o Decreto-Lei n.º 204/99, de 9 de junho - diploma que regula os Planos Regionais de Ordenamento Florestal (PROF). Os princípios orientadores da política florestal definida na LBPF, nomeadamente os relativos ao aumento da produção florestal e à conservação da floresta e dos recursos naturais associados, implicam, entre outras medidas de política, a adoção de planos regionais de ordenamento florestal (PROF), promovendo a produção sustentada de bens e serviços por eles fornecidos e definindo zonas de intervenção prioritária para os diversos agentes públicos e privados (DL n.º 204/99, de 9 de junho).

Os PROF têm como objetivos gerais:

- avaliar as potencialidades dos espaços florestais, do ponto de vista dos seus usos dominantes;
- definir o elenco de espécies a privilegiar nas ações de expansão e reconversão do património florestal;

- identificar os modelos gerais de silvicultura e de gestão dos recursos mais adequados;
- definir áreas críticas do ponto de vista do risco de incêndio, da sensibilidade à erosão e da importância ecológica, social e cultural, bem como das normas específicas de silvicultura e de utilização sustentada dos recursos a aplicar a estes espaços.

Os PROF fornecem o enquadramento técnico e institucional apropriado para minimizar os conflitos relacionados com categorias de usos do solo e modelos silvícolas concorrentes para o mesmo território. Por outro lado, a sua relevância também reside no facto de alguns aspetos do setor florestal nacional necessitarem de ser abordados numa perspetiva regional (ICNF, 2015).

Estes Planos desenham um modelo florestal a longo prazo, que cumpre os objetivos estabelecidos e se ajusta aos recursos disponíveis. Embora o seu período de vigência seja de 20 anos, o Plano é suficientemente dinâmico e flexível, incorporando com facilidade as alterações produzidas nos processos de revisão (ICNF, 2015).

Assim, os planos regionais de ordenamento florestal constituem um instrumento de concretização da política florestal que responde às orientações fornecidas por outros níveis de planeamento e decisão política, nomeadamente os constantes da Lei de Bases da Política Florestal (Lei n.º 33/96, de 17 de agosto), da Estratégia Nacional para as Florestas e da Estratégia Europeia para as Florestas, e que procura a articulação com instrumentos e políticas de outros setores (ICNF, 2015).

Para a elaboração de cada PROF contribuiu a participação ativa de representantes da administração central, regional e local, bem como das organizações não-governamentais (ONG) e com interesse direto nos recursos florestais, reunidos numa Comissão Mista de Coordenação. No âmbito da fase de consulta pública realizaram-se várias sessões de esclarecimento e foram recebidos contributos com vista a melhorar a versão final destes planos e compatibilizar os interesses em presença (ICNF, 2015).

No mesmo dia em 1999, foi também publicado o diploma que regula o processo de elaboração, aprovação, execução e alteração dos Planos de Gestão Florestal (PGF) no

Decreto-Lei n.º 205/99, de 9 de junho. Os PGF são instrumentos de ordenamento florestal das explorações que regulam, no tempo e no espaço, com subordinação aos planos regionais de ordenamento florestal (PROF) da região onde se localizam os respetivos prédios e às prescrições constantes da legislação florestal, as intervenções de natureza cultural e ou de exploração e visam a produção sustentada dos bens ou serviços originados em espaços florestais, determinada por condições de natureza económica, social e ecológica (DL n.º 205/99, de 9 de junho). Este diploma definiu também o conteúdo de outra figura de planeamento, os Planos de Utilização de Baldios (PUB), definidos alguns anos antes na Lei dos Baldios, Lei n.º 68/93, de 4 de setembro.

Em 2004, no Decreto-Lei n.º 156/2004, de 30 de junho, foram estabelecidas as medidas e ações a desenvolver no âmbito do Sistema Nacional de Prevenção e Proteção da Floresta contra Incêndios e definiu prazos para elaboração e revisão dos Planos de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PDF). Ainda em 2004, foi definida a estrutura tipo Planos de Defesa da Floresta (PDF) na Portaria n.º 1185/2004, de 15 de setembro. Os PDF para além de conterem o enquadramento no sistema de gestão territorial e no Plano Nacional de Prevenção e Proteção da Floresta contra os Incêndios Florestais, tem que apresentar a caracterização do território e respetiva cartografia digital, a análise do risco e vulnerabilidade com elaboração de várias cartas, a definição dos objetivos do plano, os programas de ação e a carta síntese destas intervenções, e por fim, têm que apresentar um programa operacional.

A Estratégia Nacional para as Florestas (ENF) foi publicada em 2006, na Resolução do Conselho de Ministros n.º 114/2006, de 15 de setembro, é o elemento de referência das orientações e planos de ação públicos e privados para o desenvolvimento do setor, insere-se na Estratégia Florestal da União Europeia.

As linhas de ação estratégicas consideradas na ENF são: minimização dos riscos de incêndios e agentes bióticos; especialização do território; melhoria da produtividade através da gestão florestal sustentável; redução de riscos de mercado e aumento do valor dos produtos; melhoria geral da eficiência e competitividade do setor; racionalização e simplificação dos instrumentos de política.

Em 2009, no Decreto-Lei n.º 16/2009 de 14 de janeiro, foram estabelecidos os três níveis distintos de planeamento do setor florestal: regional ou supramunicipal, local e operacional.

Em 2014 foram publicadas alterações ao estabelecido para o regime de criação das Zonas de Intervenção Florestal (ZIF) no Decreto-Lei n.º 27/2014 de 18 de fevereiro, e que também aprova o Regime Jurídico dos Planos de Ordenamento, de Gestão e de Intervenção de Âmbito Florestal (PROF, PGF, PEIF). Durante o mesmo ano foi ainda apresentado um conjunto de orientações em torno da atualização da Estratégia Nacional para as Florestas, na Resolução da Assembleia da República n.º 81/2014. A atualização da Estratégia Nacional para as Florestas (ENF) foi apresentada a 4 de fevereiro de 2015 na Resolução do Conselho de Ministros n.º 6-B/2015.

## 2.4 Estratégia Nacional Florestal

Em 2006 foi aprovada a Resolução do Conselho de Ministros n.º 114/2006, que reconhece as florestas como uma prioridade, a importância do setor florestal para o desenvolvimento do País e justifica a necessidade da existência de um novo quadro de referência para o setor – a Estratégia Nacional para as Florestas (ENF), figura 2, inserida na Estratégia Florestal da União Europeia.

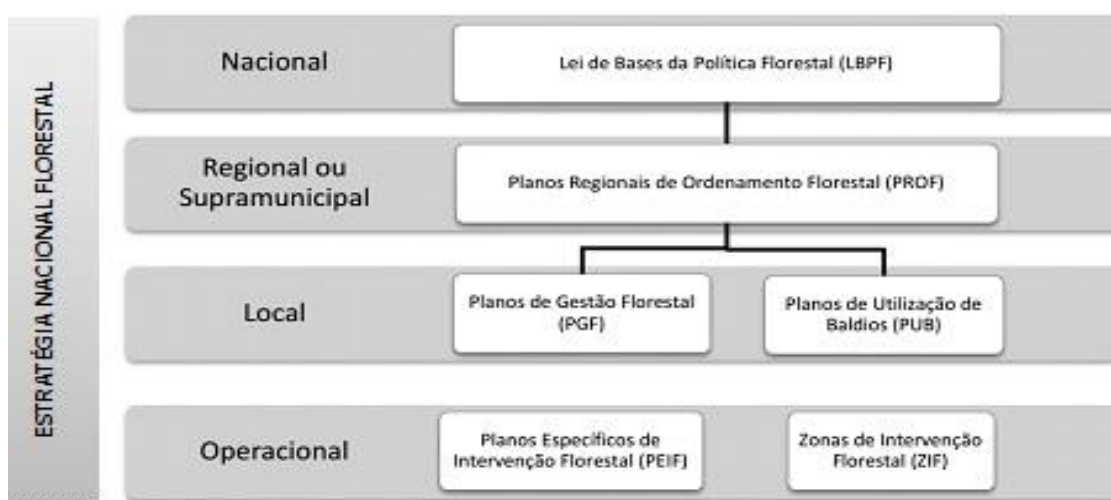


Figura 2 – Diferentes escalas de ação dos instrumentos

Durante o século XX, o setor florestal português teve um desempenho surpreendente. A produção económica anual da floresta portuguesa é avaliada em 1,2 mil milhões de euros. Estimativa que considera os produtos tradicionais (a madeira, a cortiça e a resina) assim como os frutos, cogumelos, plantas aromáticas, silvo pastorícia, caça, recreio e paisagem, proteção do solo e dos recursos hídricos, biodiversidade, e outros valores ambientais como o sequestro de carbono (ENF, 2006).

São apontados como fatores de sucesso para o setor:

- As políticas florestais que consciente ou inconscientemente criaram um ambiente propício à atividade florestal privada;
- Pouca concorrência da agricultura;
- Espécies bem adaptadas às condições locais;
- Taxas de retorno favoráveis ao investimento nas condições tecnológicas adotadas pelos proprietários: processos de muito baixa tecnologia em sementeira direta ou plantação à cova com base em trabalho manual;
- Períodos de crescimento longos;
- Integração vertical (fileiras da cortiça, da pasta e da madeira);
- Diversificação de atividades económicas (ex. a caça e a pesca nas águas interiores);
- Importante sumidouro do carbono.

No século XXI, segundo os dados dos Inventários Florestais Nacionais (IFN), verificou-se uma estabilização da área de floresta, refletindo o impacto dos incêndios e das pragas e o declínio de alguns dos sistemas florestais.

O setor florestal, pelo seu desempenho, apresenta-se como uma base sólida para futuro desenvolvimento e uma alternativa promissora para manter e aumentar a competitividade e criar empregos produtivos (ENF, 2006)

No entanto, a floresta está sujeita a alguns riscos (alterações climáticas, incêndios, pragas, doenças e invasoras), a sua diminuição é o objetivo principal da estratégia para o setor (ENF,2006).

O setor florestal é também alvo de uma mudança do seu contexto com o fenómeno da internacionalização. Dentro deste processo, destacam-se: a integração de Portugal na União Europeia; o aparecimento de vários tratados e convénios internacionais, e a adesão de Portugal a estes acordos; e no futuro a evolução das regras do comércio internacional (ENF, 2006).

A floresta é também um fornecedor de serviços ambientais tais como a proteção dos solos e da conservação de recursos hídricos, o sequestro de carbono, a proteção da paisagem e biodiversidade e o recreio (ENF, 2006).

Outro serviço importante no setor florestal é o aproveitamento da biomassa gerada nas matas em resultado da execução das ações de instalação, gestão e extração de produtos florestais com um papel potencial para o aproveitamento energético. Apesar de as indústrias florestais estarem a utilizar cada vez mais biomassa para a produção de energia, a maior parte desta biomassa provém de resíduos da atividade madeireira ou industrial e não da recolha da biomassa combustível da floresta (ENF, 2006).

Após a aprovação da ENF em 2006, os incêndios florestais e as pragas foram problemas graves que afetaram a floresta e que se refletiram na gestão florestal sustentável. A atualização da ENF de 2015 pretende identificar as ações necessárias para uma gestão equilibrada dos recursos florestais quer a nível económico como social e ambiental.

A Estratégia Nacional para as Florestas foi atualizada em 2015, em paralelo com outros processos, nomeadamente o IFN6 (Inventário Florestal Nacional) e a preparação do PDR (Programa de Desenvolvimento Rural) – FEADER (Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural) e do QREN (Quadro de Referência Estratégica Nacional) – FEDER (Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional) para o período de programação 2014-2020.

A Estratégia Nacional para as Florestas é suportada numa matriz estruturante do valor das florestas e o seu horizonte temporal é 2030. Na sua revisão de 2015, são definidos como objetivos estratégicos da ENF:

- Minimização dos riscos de incêndios e agentes bióticos;

- Especialização do território;
- Melhoria da gestão florestal e da produtividade dos povoamentos;
- Internacionalização e aumento do valor dos produtos;
- Melhoria geral da eficiência e competitividade do setor;
- Racionalização e simplificação dos instrumentos de política.

Estes seis objetivos estratégicos foram traçados em 2006 e na atualização de 2015 foram aprofundados e melhorados ao nível das ações propostas.

Na última década, à semelhança do verificado na globalidade da economia nacional, o emprego no setor florestal verificou um decréscimo de cerca de 30 mil postos de trabalho. Todavia, o nível de produção tem-se mantido ou mesmo aumentado, sugerindo um crescimento na produtividade do trabalho no setor (ENF, 2015). O setor representa também cerca de 10% das exportações de bens e 2% do Valor Acrescentado Bruto (VAB) - 621 milhões de euros, em 2009 (Sarmiento e Dores, 2013).

São distinguidas na ENF 2015, seis fileiras industriais no setor:

- A fileira da madeira de serração contabiliza cerca de 45,3 mil empregos nas atividades económicas diretamente ligadas à cadeia de produção. O setor da madeira e suas obras, incluindo o mobiliário e as construções em madeira representou, em 2013, 2,6% das exportações nacionais, observando desde 2000 (2.1%) um continuado aumento do seu significado nas exportações nacionais;

- A fileira da pasta e do papel contribui para cerca de 10,6 mil empregos diretos, mas a sua principal evolução tem sido no aumento da integração vertical no setor, com maior produção nacional de papel e cartão, o que conduz a um acréscimo notável de valor do produto, evolução comprovada pelo investimento recente (2009) no aumento da capacidade industrial (500 mil toneladas) de produção de papéis finos de impressão e escrita não revestidos. O setor papeleiro representou, em 2013, 4,9% das exportações nacionais e é um setor fortemente exportador, de elevado valor acrescentado. Portugal era, em 2010, o terceiro maior produtor de pasta de papel da UE-27 (Sarmiento e Dores, 2013)

- A fileira da cortiça, em que as exportações representam cerca de 2% do total de exportações e gera mais de 8 mil empregos;

- A fileira da biomassa para energia, enquadrada num contexto de outras políticas em articulação com a mitigação das alterações climáticas, tem assistido nos últimos anos ao aumento da capacidade instalada de centrais de biomassa para energia, assim como de unidades industriais de produção de *pellets* e briquetes. Esta fileira representa cerca de 0.1% do emprego nacional;

- A fileira da resina tem revelado um ambiente favorável à sua revitalização da extração nacional de gema, manifestando tendência para o aumento da produção, bem como dos preços da resina à entrada da fábrica;

- Os frutos de casca rija são também integrados na estratégia florestal. A castanha e o pinhão destacam-se pela sua maior contribuição, representado, em média, respetivamente, 68% e 30% das exportações de frutos de casca rija e 0,09% e 0,03% das exportações nacionais. Nestas duas culturas, são ainda de relevar os resultados da balança comercial, com as exportações largamente superiores às importações, como demonstram as taxas de cobertura muito superiores à unidade. Além do significado macroeconómico, a uma escala regional, as fileiras da castanha e do pinhão, potenciam o desenvolvimento equilibrado do território.

Apesar do contexto de crise recente e dos problemas que afetam a floresta, o setor florestal tem mantido a sua contribuição, em termos macroeconómicos, ao nível do valor acrescentado (ENF, 2015). Portugal era o país da UE-27 em que o rácio do VAB face à área de floresta produtiva era o mais elevado, 341 Euros por hectare em 2009 (Sarmiento e Dores, 2013).

## **2.5 Fileira do Pinheiro Manso**

“O Pinheiro manso (*P. Pinea*), que se distribui pela zona mediterrânea desde o nível do mar até cerca de 700 ou 800m de altitude, predomina no Alentejo, particularmente na bacia do Sado. Encontra-se também nas areias da faixa litoral ao norte do Tejo, onde vai rareando progressivamente e cede lugar ao Pinheiro bravo que tem outras possibilidades de regeneração natural, até porque a semente do Pinheiro manso, comestível, é ciosamente procurada.” (Themudo, J., Carneiro, 1958).



O Pinheiro manso (*Pinus pinea* L.) é uma espécie mediterrânica, cujos povoamentos se situam essencialmente na orla litoral, desde Portugal à Turquia. Em Portugal, ocupa uma área total de 100.311 ha, dos quais 53.544 são povoamentos puros, 30.386 mistos dominantes e 16.381 de povoamentos jovens, representando 6% da floresta nacional – figura 3 (Carneiro, D’Alpuim, e Carvalho, 2007).

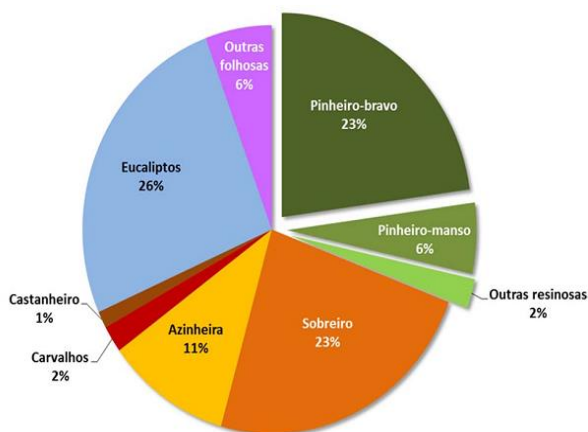


Figura 3 – Distribuição das áreas totais por espécie/grupo de espécies (IFN6, 2013).

Em 2005-2006, 68% da área de Pinheiro manso situava-se no Alentejo (mais de metade no litoral) e os restantes 32% no Ribatejo (Macedo, 2006). As áreas arborizadas por Pinheiro manso têm vindo a apresentar um aumento significativo entre 2005 e 2010 (46% em área total e 54% em área arborizada) (IFN6, 2013).

A exploração dos povoamentos de Pinheiro manso pode ter como objetivos a produção de madeira, de resina ou de pinhão, sendo esta última, atualmente, a que apresenta maior rentabilidade.

A produção de semente, o pinhão para a indústria alimentar, constitui atualmente a sua principal exploração, sendo uma fonte de rendimento importante para a fileira do Pinheiro manso. Além da sua enorme rentabilidade como produtor de fruto, convém realçar também a importância do Pinheiro manso na proteção dos solos, na fixação de dunas e como pioneira de outras espécies, nomeadamente sobreiro e azinheira, na reconversão dos seus ecossistemas degradados (Carneiro, D’Alpuim, e Carvalho, 2007).

Os valores de produção situam-se entre os 60 a 70 milhões de pinhas e 600 a 700 toneladas de miolo de pinhão (valores de 2005-2006 do Anuário Vegetal), sendo que o

valor do pinhão variou entre os 15-16€/Kg. A maior parte da produção de pinha e pinhão é para exportação. É apontada como perspectiva o da produção de pinha/pinhão, mercê dos investimentos efetuados a nível de novas plantações e também porque a taxa de sobrevivência do Pinheiro manso atinge com facilidade os 80 a 90% (Macedo, 2006).

Devido à importância económica, social e ambiental do pinhal manso e da produção de pinhão, foi criada legislação específica numa ótica de exploração sustentada deste tipo de floresta. O Decreto-Lei n.º 528/99, de 10 de dezembro, regula o período de colheita, transporte e armazenamento de pinhas. O Decreto -Lei n.º 147/2001, de 2 de maio, estabeleceu a possibilidade de alteração do período da colheita de pinhas, devido a condições climáticas excecionais que provocam alterações na produção de pinhas. Este regime jurídico foi atualizado em 2015 e aprovado pelo Decreto-Lei n.º 77/2015, de 12 de maio, a maior alteração apresentada neste Decreto recai sobre a obrigação de comunicação prévia ao ICNF de todas as ações relativas à pinha e ao Pinheiro manso pelos operadores económicos que desenvolvem as atividades. Conforme o art.º 9.º, do Decreto-Lei n.º 205/2003, de 12 de setembro, procedeu-se à delimitação de dez Regiões de Proveniência para o Pinheiro-manso *Pinus pinea*, figura 4, de acordo com critérios de clima, solo, altitude e existência da espécie, estas regiões servem para identificar as sementes.

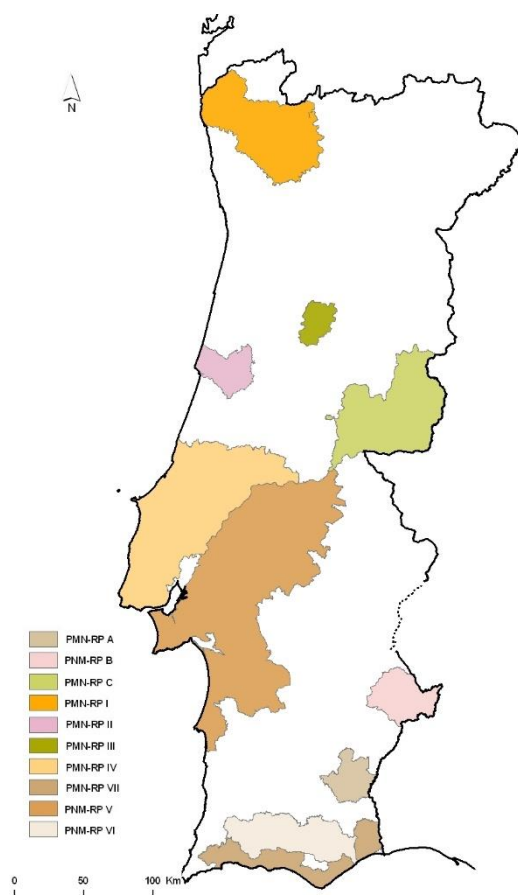


Figura 4 – Regiões de Proveniência do Pinheiro manso (adaptado de ICNF, 2003).

O Pinheiro manso e a produção de pinha e pinhão têm sido objeto de estudos multidisciplinares com interesse na maximização da produção, manutenção ou aumento da qualidade, minimização de custos com o intuito de uma melhor rentabilização económica. Os estudos científicos recaem geralmente em modelos estatísticos com dados recolhidos no terreno.

Calama *et al.*, (2011) estudaram a influência do clima na frutificação no Pinheiro manso, com criação modelos de previsão de padrões de variabilidade espaciais e temporais em diferentes escalas espaciais. Conseguiram atingir eficiências de previsão na ordem dos 70-80% à escala regional. Apresentando-se este estudo como uma ferramenta para facilitar a tomada de decisão em alguns aspetos da gestão, tais como a quantificação do valor total de pinhas a fornecer à indústria e a criação de programas de colheita. Já em 2007, Calama, *et al.*, tinham estudado vários modelos de previsão de produção de pinha no Norte de Espanha, em que consideraram como melhor o modelo

de tipo ecológico. Este modelo tinha em consideração variáveis do clima, fatores geológicos e atributos do solo.

Outro assunto de interesse relevante nos estudos sobre o Pinheiro manso é a regeneração da floresta e a sua resiliência às alterações climáticas, bem como a seleção de sementes para florestação e estudos de genética das sementes. Carrasquinho e Gonçalves, em 2013 apresentaram um estudo de avaliação da variabilidade genética e das características de adaptação de *Pinus pinea* L., de modo a identificar um grupo de linhagem com alta performance para serem usadas em plantações futuras.

Em 2010, Carrasquinho, *et al.*, apresentaram o estudo “Selection of *Pinus pinea* L. plus tree candidates for cone production”, em que utilizaram análises estatísticas multivariadas para definir diferentes estágios de desenvolvimento para o Pinheiro manso considerando o tamanho das árvores e a produção de pinha sem informação da sua localização. O objetivo deste estudo foi desenvolver uma metodologia capaz de identificar árvores com uma grande produção de pinhão. Os dados utilizados para este estudo serviram como base para o caso de estudo da presente Dissertação.

Realçando a importância desta espécie no panorama nacional, foi anunciada no final de fevereiro de 2015 a criação do Centro de Competências do Pinheiro manso e do Pinhão (CCPMP), com assinatura de protocolo nessa data por diversas entidades de áreas de competência específicas. A criação do CCPMP foi definida na ENF 2015, como uma das vias para concretização do objetivo da “melhoria geral da eficiência e competitividade do setor” integrado na “especialização do território”. O CCPMP terá sede na Mata Nacional de Alcácer do Sal, com a missão de reforço da investigação, da promoção da inovação e das boas práticas silvícolas e da transferência e divulgação do conhecimento. Este centro é considerado “um fórum de partilha e articulação de conhecimentos, capacidades e competências que congrega os agentes económicos envolvidos na fileira com os agentes das áreas de investigação, divulgação e transferência de conhecimento, bem como os organismos da administração pública relevantes, potenciando a sua cooperação” (Ministério da Agricultura e do Mar, 2015).

O CCPMP apresenta como objetivos:

- elaborar a agenda portuguesa de investigação na fileira do Pinheiro manso, na perspetiva da constituição de uma referência para a orientação de políticas públicas neste domínio e respetivos instrumentos financeiros, nomeadamente aqueles que dependem da gestão do Ministério da Agricultura e Mar, tais como o Programa de Desenvolvimento Rural 2020 e o Fundo Florestal Permanente, assim como programas de financiamento geridos por outros organismos nacionais ou europeus, tais como Portugal 2020 e Horizonte2020;
- promover a competitividade da fileira do Pinheiro manso pela via da produtividade e da sua sustentabilidade;
- promover as boas práticas silvícolas com vista a assegurar, entre outros, a qualidade e competitividade dos produtos ao longo da cadeia de valor;
- promover a salvaguarda dos povoamentos de Pinheiro manso, com realce para a sua vertente de uso múltiplo, enquanto elemento fulcral do ordenamento do território e da preservação da natureza;
- potenciar a divulgação do conhecimento científico em estreita ligação com os agentes da fileira;
- criar condições no terreno para o desenvolvimento da atividade experimental que se considere necessária à melhoria dos povoamentos de Pinheiro manso, da sua produtividade e do seu estado sanitário;
- atuar como um veículo de demonstração e extensão de práticas de gestão sustentáveis;
- promover a cooperação com redes de IeD internacionais (Ministério da Agricultura e do Mar, 2015).

A Estratégia Nacional para as Florestas com o intuito de potenciar o valor dos recursos florestais tem, obrigatoriamente, de atender à sua desigual distribuição pelos diferentes sistemas florestais, e às diferentes componentes do valor que estas representam. Deste modo foi construída uma matriz estruturante do valor das florestas

na ENF 2006 e que se mantem como indicativa para a ENF 2015 (anexo 1). Para o Pinheiro manso foram considerados os valores apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Matriz estruturante do valor da floresta de Pinheiro manso (adaptado de ENF, 2006).

Produção lenhosa (milhões de m3/ano)			Produções não lenhosas (milhões de m3/ano)				Proteção (milhares de ha)							
Madeira		Biomassa para energia	Frutos e Sementes	Pastagem (milhões de unidades forrageiras)	Resina	Cogumelos, Aromáticas	Orla Costeira	Regime Hídrico	Desertificação	Biodiversidade	Área (milhares de hectares)	Valor por hectare (euros/ha)	Valor por tipo de floresta (10 <sup>6</sup> euros)	
Serração	Variação de stock													
0,1	0,2	0,1	4	33	1	0,2	3	25	53	21	76	49	38	

A partir da matriz estruturante do valor das florestas são constituídos como objetivos estratégicos da ENF (2015):

- Minimização dos riscos de incêndios e agentes bióticos;
- Especialização do território;
- Melhoria da gestão florestal e da produtividade dos povoamentos;
- Internacionalização e aumento do valor dos produtos;
- Melhoria geral da eficiência e competitividade do setor;
- Racionalização e simplificação dos instrumentos de política.

Neste trabalho apontamos como foco o objetivo da especialização do território, que pretende o aproveitamento mais eficiente das vocações naturais do território. Na ENF 2015 é proposta a especialização do território continental português em dois tipos de áreas: produção lenhosa e gestão multifuncional.

O Pinheiro manso enquadra-se na área de gestão multifuncional, a que correspondem a áreas de potencial de produção lenhosa baixa, potenciando os valores de uso para outros produtos não lenhosos, com destaque para a cortiça, a resina, e os frutos,

nomeadamente a produção de pinhão, de castanha, de medronho e de alfarroba. Estas áreas são também importantes para pastagem, caça e recreio. Nas áreas definidas para gestão multifuncional é considerado importante na ENF, dar atenção à proteção dos solos e do regime hídrico. Deste modo, devido às suas características o Pinheiro manso revela-se como uma espécie de relevância para expansão nestas áreas.

As metas definidas na ENF com horizonte temporal de 2030 têm como principal objetivo a manutenção da área de floresta existente em 2010, e no limite superior alcançar a taxa máxima de arborização historicamente atingida de 3500 mil hectares (anexo 2). Nestas metas para 2030 está incluída a necessidade de dar resposta às principais fileiras silvo-industriais (Pinheiro bravo, Sobreiro e Eucalipto) e potenciar o aumento das áreas ocupadas por outras espécies incluindo, Carvalhos, outras resinosas, Pinheiro manso, Castanheiro e outras folhosas que integram sistemas produtivos de madeiras nobres e de frutos (ENF, 2015). Estas metas são devidamente enquadradas e concretizadas nos PROF.

Para o Pinheiro manso foi definido como metas um aumento de 15% a 33% de 2010 a 2030 (tabela 2).

Tabela 2 – Áreas florestais para o Pinheiro manso para os cenários “mínimo” e “máximo”, unidades: 1000ha (adaptado de ENF, 2015).

2010	% do total	2030 (min)	% do total	Variação 2010-2030	2030 (max)	% do total	Variação 2010-2030
176	0,06	202	0,06	0,15	2,33	0,07	0,33

## 2.6 Caso de Estudo - Produção de pinha em Pinheiro manso

A área de estudo para criação de mapas de previsão de produção de pinha em Pinheiro manso, abrange uma área de cerca de 682 903 ha, distribuídos por oito concelhos - Chamusca, Coruche, Montemor-o-Novo, Vendas Novas, Setúbal, Alcácer do

Sal, Grândola e Santiago do Cacém - de três distritos – Santarém, Évora e Setúbal. A amostra representa 330 árvores distribuídas por 40 parcelas, figura 5.

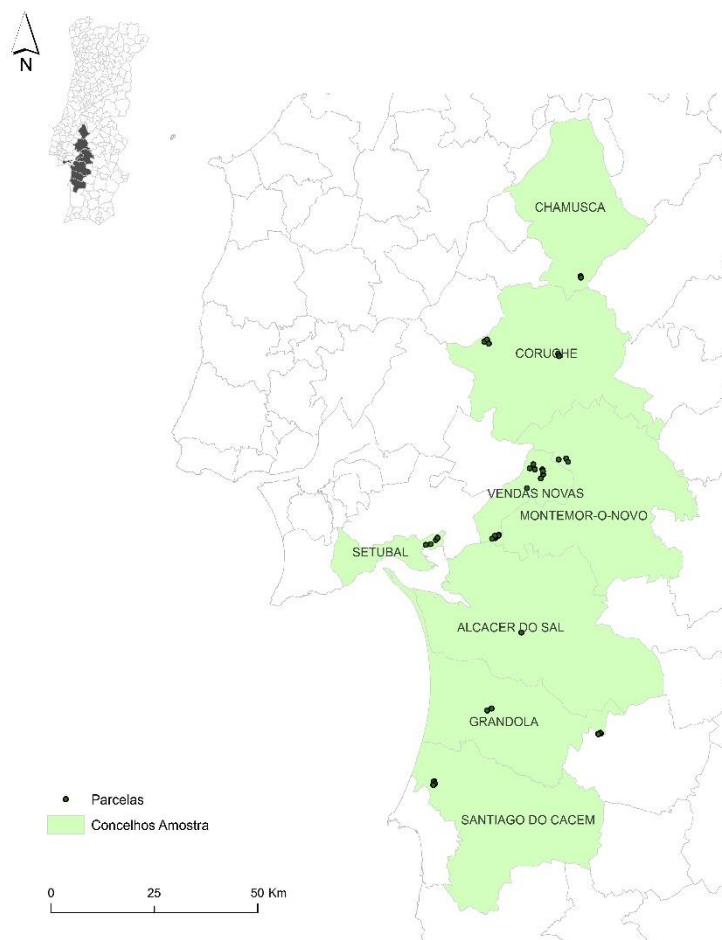


Figura 5 – Amostra: 8 concelhos, 40 parcelas.

As parcelas da amostra encontram-se nos limites dos PROF do Ribatejo, Área Metropolitana de Lisboa, Alentejo Central e Alentejo Litoral – Figura 6.



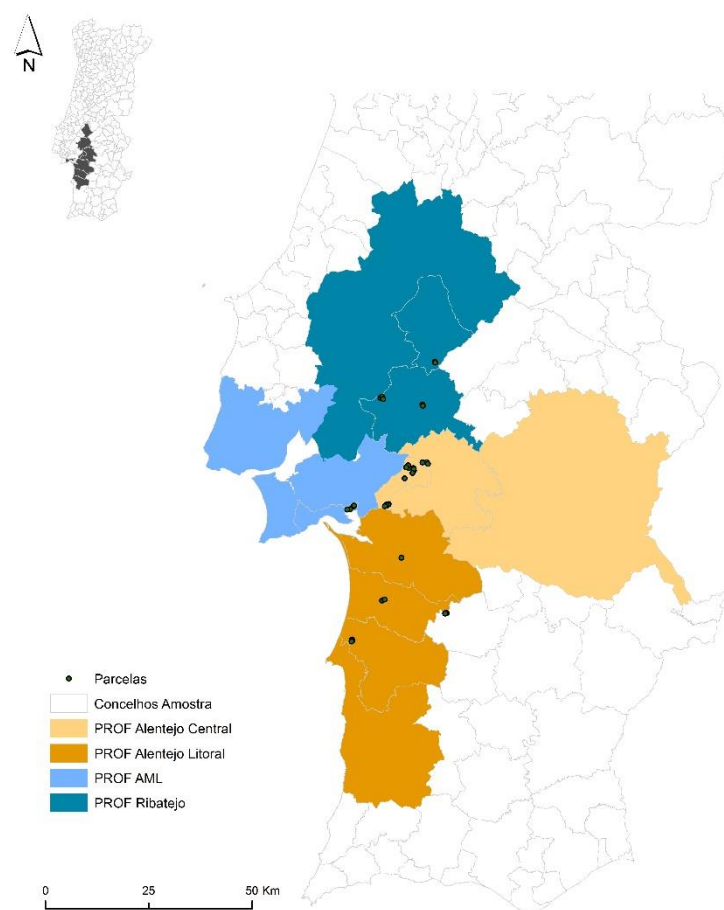


Figura 6 – PROF's da área de estudo.

O Ribatejo destaca-se no contexto florestal nacional pelo elevado potencial produtivo para as espécies das principais fileiras florestais e pela sua posição geográfica privilegiada, a que acresce o potencial para o desempenho harmonioso das diversas funções dos espaços florestais. No PROF do Ribatejo são apontados como objetivos transversais a defesa da floresta contra incêndios, a melhoria da gestão florestal e a melhoria contínua do conhecimento e das práticas. No PROF são estabelecidos objetivos mais específicos por sub-região e são apresentadas um conjunto de medidas com intuito de atingir metas que refletem a realidade desejada para a região e para as sub-regiões homogêneas para o prazo de vigência do plano (20 anos) e para o muito longo prazo, cerca de 40 anos (tabela 3).

Podemos verificar que é desejado um aumento da área florestal de Pinheiro manso de 2% para esta região até 2025.

Tabela 3 - Metas PROF Ribatejo (PROF Ribatejo, 2006).

<b>Ribatejo</b>	<b>Estimativa atual (IFN 95/98)</b>	<b>2025</b>	<b>2045</b>
<b>Espaços florestais na região (%)</b>	63	64	64
Espaços florestais arborizados na região (%)	47	51	52
<b>Composição dos espaços arborizados (%)</b>			
Carvalhos (carvalho cerquinho)	3	4	4
Resinosas Diversas	<0,5	1	2
Eucalipto	34	31	30
Pinheiro bravo	18	15	15
Pinheiro manso	3	5	5
Sobreiro	39	40	40
Azinheira	1	1	2
Folhosas Diversas	2	3	3

A AML é a região de Portugal com maior densidade populacional, conciliar as necessidades da população com a manutenção dos espaços florestais na AML é um dos pontos do PROF. No contexto da região foram estabelecidos os objetivos para o médio prazo (20 anos), e para o longo prazo (40 anos):

- Promover o aumento dos espaços florestais arborizados;
- Promover o aumento de espaços florestais dedicados ao recreio e lazer;
- Promover a Gestão florestal sustentável;
- Promover o aumento da área de espaços florestais sujeitos a gestão florestal profissional;
- Incentivar a gestão conjunta nas áreas de maior fragmentação da propriedade;
- Promover uma prevenção eficaz dos incêndios florestais;
- Promover a adoção de modelos de silvicultura com vista a maior valorização dos espaços florestais;
- Promover a utilização do uso múltiplo da floresta;
- Promover a utilização e valorização dos resíduos florestais;
- Estabilizar os espaços florestais;
- Promover a procura de novos mercados para os produtos florestais;

- Promover a recuperação dos espaços florestais degradados com vista à sua valorização quer em termos económicos quer em termos ecológicos;
- Controlar e erradicar os problemas fitossanitários.

Quanto à composição dos espaços arborizados o PROF AML apresenta as seguintes metas (tabela 4), destacando o aumento dos espaços arborizados com Pinheiro manso de 8% para 14% em 2045.

Tabela 4 – Metas PROF AML (adaptado PROF AML,2006).

AML	Estimativa atual	2025	2045
<b>Espaços florestais na região (%)</b>	43	46	48
Espaços florestais arborizados na região (%)	60	63	64
<b>Composição dos espaços arborizados (%)</b>			
Outros Carvalhos	4	9	11
Outras Resinosas	2	4	6
Eucalipto	18	13	9
Pinheiro bravo	31	21	13
Pinheiro manso	8	11	14
Sobreiro	32	35	38
Outras Folhosas	5	7	9

Tal como nos PROF's anteriores no PROF Alentejo Central estabeleceram-se objetivos a partir de uma análise SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats) para a qual se avaliam os pontos fortes e fracos da região, confrontando-os com o ambiente externo, de âmbito nacional e internacional, organizado sob a forma de oportunidades e ameaças. Para o PROF Alentejo Central foram definidos dezasseis objetivos gerais, entre eles:

- Incentivar a exploração dos produtos da silvo pastorícia e dos produtos não-lenhosos (frutos secos, cogumelos, mel, ervas aromáticas, condimentares e medicinais) e promover a sua certificação tanto ao nível da gestão como dos produtos;
- Executar planos de gestão para terrenos públicos tornando-os modelos a seguir pelos particulares (criação de matas modelo);
- Promover a gestão florestal sustentável e a certificação tanto da gestão florestal como dos produtos florestais, designadamente da cortiça;

- Aumentar o conhecimento técnico na gestão florestal;
- Planear as novas arborizações tendo em conta o potencial aumento do risco de incêndio;
- Promover formas de exploração dos espaços florestais que sejam geradoras de emprego;
- Promover uma visão empresarial da exploração dos espaços florestais e incentivar a certificação da gestão florestal sustentável.

Como metas para 2025 e 2045 pretende-se o aumento de 1% do total de espaços florestais e um aumento de 2% no Pinheiro manso, tabela 5.

*Tabela 5 – Metas PROF Alentejo Central (adaptado PROF Alentejo Central, 2006).*

<b>Alentejo Central</b>	<b>Estimativa atual (IFN 95/98)</b>	<b>2025</b>	<b>2045</b>
<b>Espaços florestais na região (%)</b>	58	58	59
Espaços florestais arborizados na região (%)	42	49	55
<b>Composição dos espaços arborizados (%)</b>			
Eucalipto	8	5	4
Pinheiro bravo	1	1	1
Pinheiro manso	2	4	4
Sobreiro	44	44	43
Azinhiera	44	45	47
Outras Folhosas	1	1	1

O Alentejo Litoral é uma região que apresenta um elevado potencial florestal. As potencialidades produtivas centram-se nas espécies características destes ecossistemas: sobreiro e azinhiera. O Pinheiro-manso que encontra nesta região a sua melhor área de distribuição e de produtividade, introduz uma vertente de produção e proteção com grande importância, especialmente no setor Norte da região. A presença de boa aptidão para o eucalipto e Pinheiro-bravo permitem diversificar a paisagem (PROF Alentejo Litoral, 2007). Alguns dos objetivos traçados no PROF Alentejo Litoral são:

- Adequar a distribuição da floresta de produção às zonas com maior potencial produtivo;

- Promover a gestão florestal sustentável e a certificação tanto da gestão florestal como dos produtos florestais, designadamente da cortiça e do pinhão;
- Promover a constituição de unidades de aproveitamento de biomassa florestal;
- Promover a implantação da certificação de origem para o pinhão produzido na região;
- Diversificar as espécies florestais e multifuncionalidade dos espaços florestais;
- Planear novas arborizações, tendo em conta o potencial aumento do risco de incêndio;
- Promover formas de exploração dos espaços florestais que sejam geradoras de emprego.

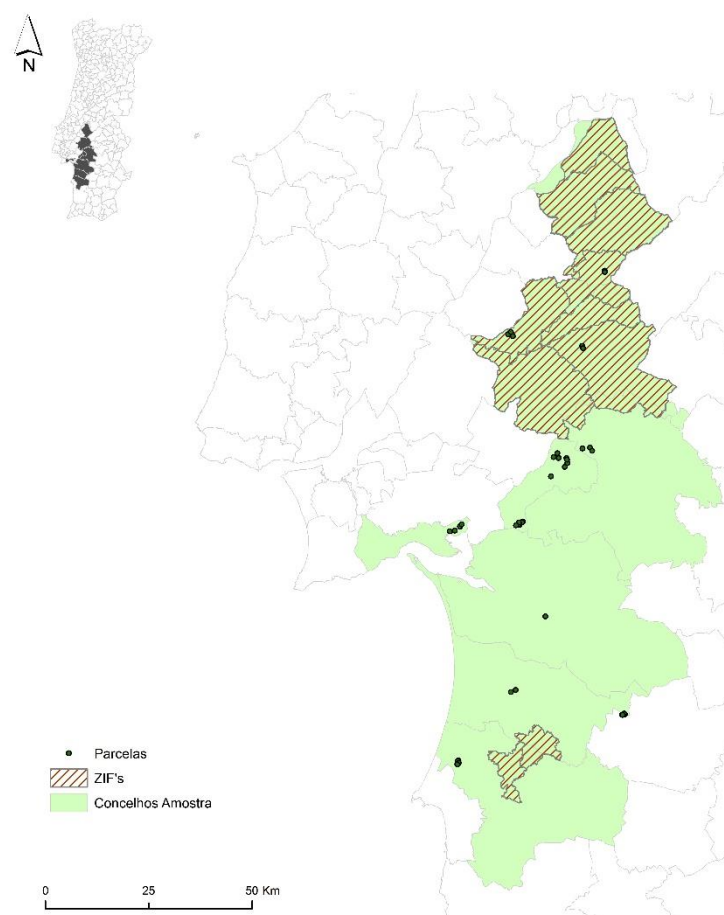
A visão estratégica para esta região são espaços florestais mais resilientes, onde a função de produção apresenta melhor enquadramento paisagístico e multifuncional, associado ao reconhecimento de uma fileira regional centrada no Pinheiro manso (PROF-Alentejo Litoral).

É considerada meta para a região a manutenção dos espaços florestais com diminuição do Eucalipto e do Pinheiro bravo para aumento do Sobreiro e do Pinheiro manso (tabela 6).

Tabela 6 – Metas PROF Alentejo Litoral (adaptado PROF Alentejo Litoral,2007).

<b>Alentejo Litoral</b>	<b>Estimativa atual (IFN 95/98)</b>	<b>2025</b>	<b>2045</b>
<b>Espaços florestais na região (%)</b>	75	75	75
Espaços florestais arborizados na região (%)	56	60	71
<b>Composição dos espaços arborizados (%)</b>			
Eucalipto	16	13	12
Pinheiro bravo	13	12	10
Pinheiro manso	12	13	14
Sobreiro	51	53	55
Azinhreira	7	7	7
Outras Folhosas	1	2	2

As parcelas dos concelhos Chamusca e Coruche encontram-se nas ZIF's – Charneca da Calha do Grou, Ribeiras da Lamarosa e Magos e Divor (figura 7).



*Figura 7 – ZIF's da área de estudo.*

O Plano de Gestão Florestal (PGF) da ZIF Charneca da Calha do Grou pretende atingir os objetivos: (i) proteger a floresta contra incêndios, pragas e doenças florestais; (ii) conhecer e proteger os valores naturais dos ecossistemas existentes; (iii) delinear modelos de gestão que articulem as principais funcionalidades - Produção x Silvo pastorícia e Caça x Proteção; (iv) garantir a monitorização futura destes espaços florestais. Sendo uma zona caracterizada pela sua extensa área florestal dominada pelo sobreiro, pelo Pinheiro bravo e eucalipto (espécies de fileiras com interesse nacional), e pelo Pinheiro manso ao nível das fileiras regionais, a principal funcionalidade desta zona florestal é a produção.

No PGF da ZIF Ribeiras da Lamosa e Magos foram considerados críticos em termos da gestão futura: melhorar a compartimentação do espaço florestal; promover medidas de conservação do solo e da água; fomentar opções de gestão potenciadoras

da regeneração natural de Sobreiro; recuperar o potencial produtivo dos eucaliptais; reduzir a incidência do Nemátodo da Madeira do Pinheiro e rearborizar áreas aridas. Um dos pontos fortes apontados para esta ZIF é a elevada aptidão edafoclimática para Sobreiro, Eucalipto, Pinheiro bravo e Pinheiro manso e o bom estado fitossanitário dos povoamentos de sobreiro e Pinheiro manso.

### **Capítulo 3 - Conceitos fundamentais de Geoestatística**

A análise espacial de dados é um dos fundamentos de base de um Sistema de Informação Geográfica. O estudo efetuado por John Snow, em meados do século XIX, durante uma epidemia de cólera em Londres foi um exemplo pioneiro de análise espacial de dados. Snow utilizou um mapa para avaliar a relação entre a distribuição de óbitos por cólera e a localização das bombas de água que abasteciam a cidade.

A estatística clássica utiliza parâmetros como a média e o desvio-padrão para representar um fenómeno, e na sua génese, as variações de um local para outro são aleatórias. O tempo e o espaço são variáveis introduzidas pela geoestatística comparativamente com a estatística clássica, ou seja, na estatística clássica adota-se a aleatoriedade das variações dos fenómenos, na geoestatística estuda-se a correlação entre os dados espaciais e sua localização e diferenciação temporal. A variabilidade espaço temporal é difícil de prever com precisão, no entanto, ao analisar esta variabilidade é possível detetar padrões que podem ajudar a prever parâmetros em localizações sem dados de amostra. As ferramentas estatísticas também por não considerarem a localização geográfica dos fenómenos naturais podem ser insuficientes para os descrever. Os dados recolhidos no campo contêm informação de localizações adjacentes, visto que os fenómenos naturais não ocorrem pontualmente.

A Geoestatística teve uma primeira abordagem por Danie G. Krige, em 1951, que percebeu que simplesmente usando a distribuição de amostras de ouro em minas exploradas no passado, constituíam uma abordagem para previsão de existência de ouro em locais ainda não explorados. Krige sabia que era necessário ter em consideração a distância entre as amostras, e o seu trabalho provou apresentar melhores resultados

que os métodos usados anteriormente. Matheron, 1963 formalizou a teoria de Krige e introduziu a teoria das variáveis regionalizadas (Rumor, McMillan, e Ottens, 1996) e o variograma (ou semivariograma), defendendo que a modelação espacial de minas não podia assentar numa variável aleatória no sentido da estatística tradicional. Na sua teoria, as variáveis regionalizadas definem-se como funções espaciais numéricas, variando de localização e apresentando continuidade. Estas variáveis possuem, por um lado, um carácter aleatório, traduzido pela irregularidade e variação imprevisível de ponto para ponto, e, por outro lado, apresentam também um carácter estruturado, representando as relações existentes entre os valores nos diferentes pontos no espaço. É de esperar, que em pontos mais próximos os valores das variáveis se relacionem mais do que em pontos mais afastados (Cressie, 1990).

A geoestatística apresenta modelos inferenciais mais vocacionados para dados mais dispersos no espaço. O *kriging* é um desses modelos, onde é estimada uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. *Kriging* foi usado durante várias décadas como sinónimo de interpolação geoestatística.

Os avanços nos domínios da estatística espacial e dos SIG contribuíram para um grande desenvolvimento dos métodos de identificação de padrões de ocorrência de recursos naturais e na sua modelação geográfica (C. Johnston, 1998). Podem ser integrados num SIG vários métodos de análise de dados estatísticos espaciais (Stewart Fotheringham e Rogerson, 1993), esta integração é conseguida numa abordagem prevista em Goodchild, (1992), a incorporação de ferramentas de análise espacial e análise geoestatística em *software* de SIG.

Modelos geoestatísticos têm sido extensivamente utilizados para analisar e prever processos espaciais e também para caracterizar a variação espacial de fenómenos relacionados com a ecologia, tais como a vegetação (Woodcock *et al.*, 1988) e as propriedades dos solos (Rogowski, 1996). De modo a visualizar dados de recursos naturais obtidos em pontos georreferenciados, a geoestatística pode ser utilizada para interpolação ou extrapolação espacial (Griffith, 1993)



Os métodos de *kriging* dependem de modelos matemáticos e estatísticos. A adição de um modelo estatístico que inclui probabilidades separa os métodos de *kriging* dos métodos determinísticos. Nestes métodos, associa-se alguma probabilidade às previsões, porque os valores não são perfeitamente previsíveis com modelos estatísticos. Com os modelos *kriging* tenta-se não só prever os valores não medidos como também se tem acesso ao erro da previsão.

Os métodos de *kriging* recaem na noção de autocorrelação. A correlação é normalmente pensada na tendência de dois tipos de variáveis se relacionarem. Um princípio básico da geografia definido na Lei de Tobler é que fenómenos próximos têm maior tendência para se relacionarem que fenómenos distantes. A taxa de correlação entre variáveis pode ser expressa em função da distância.

A autocorrelação é uma função de distância. Esta é uma característica da geoestatística. Na estatística clássica, as amostras são consideradas independentes, ou seja, não há relação entre elas. Na geoestatística, a informação da localização espacial permite calcular as distâncias entre as observações e modelar a autocorrelação em função da distância.

Nas relações entre variáveis ocorrem tendências, nos dados geoestatísticos existem os mesmos termos, e são expressos nesta simples formula matemática:

$$Z(s) = u(s) + e(s) \quad (1)$$

Em que  $Z(s)$  é a variável, decomposta numa tendência determinística  $u(s)$  e um erro aleatório de autocorrelação  $e(s)$ . O símbolo  $s$  indica a localização; contendo as coordenadas espaciais  $xy$ .

As variações desta fórmula são a base dos diferentes tipos de *kriging*. Independentemente da complexidade da tendência no modelo,  $u(s)$  nunca irá ser perfeitamente previsível. Quando a tendência é uma constante simples, ou seja,  $u(s) = m$ , em todas as localizações ( $s$ ), e se  $u$  é desconhecido, esta é a base do modelo do *kriging* ordinário. Tendências que variam, e em que os coeficientes de regressão são desconhecidos, formam modelos do *kriging* universal. Sempre que a tendência é completamente conhecida (em que todos os parâmetros e covariáveis são conhecidas), sendo constante ou não, são a base do modelo do *kriging* simples. Quando se fazem

transformações em  $Z(s)$ , por exemplo usando  $Z(s)$  como uma variável indicadora, se  $Z(s)$  for inferior a um certo valor então  $Z(s)=0$  ou 1 se for superior ao valor indicado, esta é a base do modelo de *kriging* indicador.

Finalmente considerando o caso de haver mais do que um tipo de variáveis, em que cada variável pode ter uma tendência diferente. Os modelos baseados em mais do que uma variável são a base do *cokriging*. Pode-se formar uma variável indicadora, e se a prevermos usando o valor original não transformado num modelo de *cokriging*, obtemos um *kriging* probabilístico.

A geoestatística fornece um conjunto de ferramentas estatísticas para incluir no processamento dos dados referências espaciais e temporais. Até aos anos 80, a geoestatística era vista essencialmente como um meio para descrever padrões espaciais através dos semivariogramas e para fazer previsões de atributos dos solos em localizações sem medições através dos modelos de *kriging* (Goovaerts, 1999).

Durante a década de 80, a geoestatística foi praticada essencialmente num “modo de produção”, em que eram feitas muitas pesquisas metódicas mas em que a verificação era esquecida. Nas décadas seguintes generalizou-se esta prática, a uma escala maior devido aos avanços tecnológicos que permitiram a disponibilização de algoritmos de simulação em muitos dos *softwares* comercializados. A geoestatística tornou-se popular tanto nas explorações de minas como na indústria do petróleo. Atualmente, os algoritmos e equipamentos são mais rápidos que nunca, e são produzidos para facilitar a configuração de um estudo geoestatístico (Leuangthong, *et al.*, 2004). Têm sido desenvolvidas novas ferramentas para enfrentar problemas mais avançados, tais como a avaliação da incerteza sobre a qualidade do solo, concentração de poluentes, a simulação probabilística da distribuição espacial de valores de atributos e para modelar processos espaço temporais (Goovaerts, 1999).

A geoestatística evoluiu para uma metodologia compreensiva e um conjunto de ferramentas tanto para realização de estimativas como para simulações. Os algoritmos de *kriging* são vistos favoravelmente pela sua capacidade de estimar a variabilidade espacial dos dados. O único problema é a distribuição de estimativas excessivamente regular, que não é representativa da verdadeira variabilidade. Recentemente, a

simulação tem ganho popularidade nas técnicas de estimativas devido à sua capacidade de melhorar a caracterização heterogénea e a avaliação conjunta da incerteza (Leuangthong, McLennan, e Deutsch, 2004). A simulação geoestatística é construída com base no *kriging*. No seu desenvolvimento, a simulação retém a maior parte dos atributos positivos do *kriging*, que são a reprodução exata dos dados e o uso das correlações espaciais entre os dados. O efeito regularizador na estimação é correto por ter em conta a variabilidade entre as localizações simuladas (Leuangthong *et al.*, 2004).

Os métodos geoestatísticos têm sido usados com sucesso para investigar a variabilidade espacial de variáveis ambientais e para incorporar esta informação na cartografia. Comparada com outros métodos, a geoestatística oferece uma forma eficaz para facilitar a quantificação da variabilidade espacial e para interpolação espacial. A geoestatística é amplamente aplicada para analisar a heterogeneidade espacial da distribuição das florestas e dos solos (Fu, *et al.*, 2015).

Qualquer propriedade do ambiente pode ser medida num número infinito de locais, mas na prática são medidas em muito poucos, principalmente por questões de economia. Se pretendermos saber valores em outros locais temos que fazer estimativas a partir dos dados que conseguimos obter. O mesmo acontece se quisermos estimativas de áreas muito vastas das quais não foi possível medir ou observar as propriedades diretamente.

Os modelos *Kriging* fornecem soluções para o problema das estimativas baseadas em modelos aleatórios contínuos de variação espacial. Fazendo o melhor uso da informação existente, por levar em conta a forma como uma propriedade varia no espaço através do modelo de semivariograma. Na sua formulação inicial uma estimativa *kriging* em um local era um simples somatório linear ou uma média ponderada de dados na sua vizinhança. A partir daí os cálculos *kriging* têm sido elaborados para enfrentar problemas cada vez mais complexos, em minas, engenharia do petróleo, controlo e diminuição de poluição e na saúde pública. O termo *kriging* é agora genérico, abrangendo diversos tipos de *kriging* distintos, lineares e não-lineares. Os *krigings* lineares podem produzir previsões livres de “ruído” sob a forma de um valor “novo” em cada local de medição, nestes métodos é possível especificar a proporção do *nugget*,

que é a variação em micro-escala do erro de previsão (Krivoruchko, 2001). Os *krigings* não-lineares são métodos de interpolação exatos e não levam em conta a incerteza da previsão nos locais de previsão, ou seja, o *nugget* (Krivoruchko, 2001).

Nesta dissertação foram utilizados os *krigings* lineares – *Ordinary Kriging*, *Simple Kriging* e *Universal Kriging*.

### 3.1 Semivariograma

A novidade que Matheron (1963) e os seus colegas introduziram para a análise de dados espaciais foi o traçado e derivação das chamadas semivariâncias – as diferenças entre os valores vizinhos:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E[(z(s_i) - z(s_i + h))^2] \quad (2)$$

Onde,  $z(s_i)$  é o valor de uma variável alvo em algum local amostrado e  $z(s_i+h)$  é o valor do vizinho na distância  $s_i+h$ . Supondo que existem  $n$  observações pontuais, são geradas  $n \times (n-1)/2$  pares para cada que a semivariância pode ser calculada. Podemos assim, representar graficamente numa nuvem de semivariograma todas as semivariâncias *versus* as distâncias que as separam. Para facilitar a leitura das nuvens de pontos do semivariograma os valores são agrupados em valores médios para uma distância padrão designada de *lag*.

No semivariograma todos os pares de pontos possíveis são observados. Quando a distância do par é zero, a semivariância também é zero. Se a distância ( $h$ ) entre pontos é pequena, os pares de pontos têm uma grande relação entre si e o valor da semivariância é reduzido.

Há vários termos associados à função do semivariograma, figura 8.

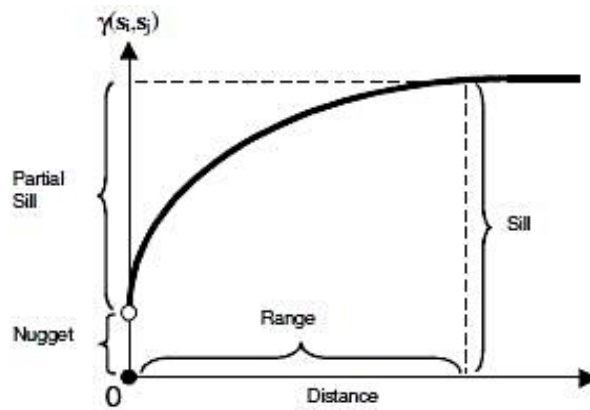


Figura 8 – Anatomia de um semivariograma (Johnston, *et al.*, 2001).

*Sill* é o valor de semivariância que nivela o semivariograma, é a altura máxima que este atinge. Pode também ser designado como a amplitude de uma determinada componente do semivariograma. O *sill* é composto por duas partes: uma descontinuidade no início, chamado de *nugget* (ou efeito pepita) e o *partial sill*. O *nugget* pode ser dividido em erro de medição e microescala de variação, mas como qualquer um dos componentes pode ser zero, o *nugget* pode ser composto inteiramente de uma ou de outra. *Range* é a distância de *lag* na qual o semivariograma (ou a componente do semivariograma) atinge o valor de *sill*. Sendo presumível que a autocorrelação seja nula depois de alcançado o valor de *range*. Teoricamente o valor de *nugget* no início do semivariograma deveria ser zero. Se este for significativamente diferente de zero, para *lags* muito próximos de zero, então o valor do semivariograma é referido como *nugget*. O *nugget* revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode dever-se a erros de medição, mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem (Isaaks e Srivastava, 1989).

As funções de semivariograma e covariância quantificam o pressuposto de que fenômenos próximos costumam ser mais parecidos do que fenômenos mais afastados no espaço. Ambas medem a força da correlação estatística em função da distância.

Há vários tipos de modelos de semivariograma, nesta dissertação foram considerados três: Gaussiano, Exponencial e Esférico (figura 9).

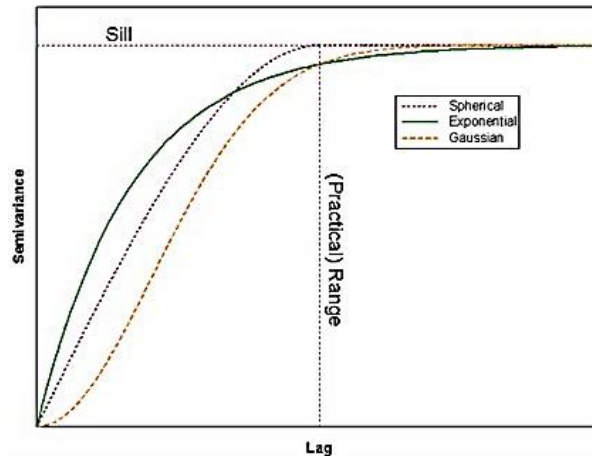


Figura 9 – Tipos de Semivariograma (Bohling, 2005).

O modelo gaussiano, com o seu comportamento parabólico na origem, representa eficazmente propriedades muito variadas. Os modelos exponencial e esférico, apresentam um comportamento linear na origem apropriado para a representação de propriedades de curto *range* com um nível mais elevado de variabilidade (Bohling, 2005). Estes três modelos por terem um *sill* com fim determinado são referidos como modelos de transição. A seleção dos modelos influencia as previsões dos valores não medidos, particularmente quando a forma da curva perto da origem difere significativamente. Quanto mais íngreme for a curva no seu início, maior é a influência dos vizinhos mais próximos na previsão. Cada modelo é desenhado para melhor se adequar aos diferentes tipos de fenómenos em estudo.

Esférico

$$\gamma(h; \theta) = \begin{cases} \theta_s \left[ \frac{3}{2} \frac{\|h\|}{\theta_r} - \frac{1}{2} \left( \frac{\|h\|}{\theta_r} \right)^3 \right] & \text{para } 0 \leq \|h\| \leq \theta_r \\ \theta_s & \text{para } \theta_r \leq \|h\| \end{cases} \quad (3)$$

Exponencial

$$\gamma(h; \theta) = \theta_s \left[ 1 - \exp \left( -\frac{3\|h\|}{\theta_r} \right) \right] \text{ para todo o } h \quad (4)$$

Gaussiano

$$\gamma(h; \theta) = \theta_s \left[ 1 - \exp \left( -3 \left( \frac{\|h\|}{\theta_r} \right)^2 \right) \right] \text{ para todo o } h \quad (5)$$

Onde  $\theta_s \geq 0$  é o parâmetro parcial *sill* e  $\theta_r \geq 0$  é o parâmetro *range*.

## 3.2 Tipos de *Kriging*

### 3.2.1 *Ordinary Kriging*

*Ordinary Kriging* (OK) é o método mais robusto e utilizado com mais frequência, é considerado a versão padrão de *kriging* e também denominado de *Kriging Normal*. As previsões são baseadas no modelo:

$$Z(s) = \mu + \varepsilon'(s) \quad (6)$$

Onde  $\mu$  é a função constante estacionária (média global) e  $\varepsilon'(s)$  é a parte da correlação espacial aleatória da variação.

O objetivo do *kriging* é estimar o valor de uma variável aleatória,  $Z$ , em um ou mais pontos sem amostra ou em largos blocos, a partir de mais ou menos dados de exemplo. O estimador é formado como um somatório ponderado dos dados,

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (7)$$

Onde  $Z(s_i)$  é o valor medido na localização  $S_i$ ;  $\lambda_i$  é um peso desconhecido para o valor medido na localização  $S_i$ ;  $S_0$  é a localização de predição.

No *Ordinary Kriging* o peso,  $\lambda_i$ , depende do semivariograma, a distância para a localização de predição, e as relações espaciais entre os valores medidos ao redor da localização de predição.

Ao fazer estimativas para várias localizações, podemos esperar encontrar alguns valores acima e outros abaixo. Em média, a diferença entre as previsões e os valores medidos deveria ser zero. Isto é referido de modo a que a previsão seja imparcial. Para certificar que o estimador é imparcial para os valores desconhecidos, o somatório dos

pesos,  $\lambda_i$ , deve ser igual a um. Usando esta restrição, certifica-se que a diferença entre o valor real,  $Z(s_0)$ , e o estimador,  $\sum \lambda_i Z(s_i)$ , é tão pequena quanto possível. Ou seja, minimizar a expectativa estatística da fórmula de onde as equações do *kriging* foram obtidas:

$$\left( Z(s_0) - \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \right) \quad (8)$$

Ao minimizar a expectativa, em média, o estimador de *kriging* é o mais próximo possível do valor desconhecido.

Conceptualmente o *Ordinary Kriging* é uma predição ou interpolação espacial que usa os modelos do semivariograma ou da covariância que assumem as relações espaciais entre os dados. Fazendo algumas suposições sobre o modelo, como a estacionariedade intrínseca e que a média real dos dados é constante mas desconhecida.

### 3.2.2 Simple Kriging

O *Simple Kriging* (SK) é o algoritmo de *kriging* na sua versão não-estacionária mais geral, em que se assume o conhecimento das médias do conjunto de variáveis aleatórias referentes aos valores amostrados e aos pontos no espaço não amostrado (Soares, 2000).

Por vezes, sabemos ou podemos assumir a média de uma variável aleatória da natureza do problema. Nestas circunstâncias devemos usar esse conhecimento para melhorar as nossas estimativas, e podemos fazê-lo com o *Simple Kriging*. As nossas estimativas continuam a ser um somatório linear, mas não integram a média,  $\mu$ , no processo, que deve ser estacionária de segunda ordem. As previsões por *Simple Kriging* não devem ser uma opção para processos que são apenas intrínsecos, é necessário um semivariograma com um limite superior (Webster e Oliver, 2007).

A equação é



$$\sum_{i=1}^N \lambda_i C(\mathbf{X}_i, \mathbf{X}_j) = C(\mathbf{X}_0, \mathbf{X}_j) \quad (9)$$

Aqui  $\lambda_i$  são os pesos, como no *Ordinary Kriging*, mas não estão restritos ao somatório igual a um. Em geral, as variâncias obtidas por *Simple Kriging* são de alguma forma menores das que as conseguidas por *Ordinary Kriging*, deste modo, podemos pensar que podemos melhorar as previsões introduzindo a média estimada dos dados.

### 3.2.3 Universal Kriging

O *Universal Kriging* é utilizado quando ocorre uma tendência nos dados, em que não há uma média constante e o semivariograma ou a covariância dos dados originais não são apropriados para modelar a estrutura da correlação espacial. Havendo sempre a necessidade de remover a tendência.

O *Universal kriging* assume o modelo,

$$Z_i(s) = [X(s)]' \beta + \varepsilon_i(s) \quad (10)$$

Mas depois decompõe os erros aleatórios,

$$\varepsilon_t(s) = Y(s) + \eta(s) + \delta_t(s) \quad (11)$$

Onde  $X$  é uma matriz e  $\beta$  é um vetor de parâmetros, e apesar de ser semelhante ao modelo de *Ordinary Kriging*, com as mesmas suposições exceto,

$$\mu(s) = [X(s)]' \beta \quad (12)$$

Onde  $X(s)$  é um vetor de covariâncias observadas e  $\beta$  é um vetor de parâmetros desconhecidos (Johnston, *et al.*, 2001).

O *Universal Kriging* é notavelmente parecido com o *Ordinary Kriging* e, tal como este, o procedimento é automático uma vez que se tenha uma função satisfatória para o semivariograma. Sendo essa a maior dificuldade para o *kriging* com presença de tendência (Webster e Oliver, 2007).

## Capítulo 4 - Material e métodos

### 4.1 Área de trabalho e metodologia

Nesta dissertação é aplicada a Geoestatística em sistemas de Produção Florestal para daí se conseguir um melhor e mais sustentável planeamento florestal.

Os dados foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV). Tendo sido recolhidos através de uma iniciativa conjunta do INIAV, do Instituto Superior de Agronomia (ISA), dos Serviços Florestais Nacionais e de associações locais de proprietários florestais.

Os dados de campo foram obtidos junto à Península de Setúbal, a principal zona produtora em Portugal, onde se instalaram 51 parcelas para quantificação da produção de pinha durante três períodos de produção (2004-2005, 2005-2006 e 2006-2007). Para esta dissertação foram apenas consideradas 40 parcelas com 330 árvores, por falta de coordenadas geográficas das restantes.

Os dados utilizados nesta dissertação foram abordados anteriormente em dois artigos: (i) Carrasquinho *et al.*, (2010) “Selection of *Pinus pinea* L. plus tree candidates for cone production” em que foram realizadas análises estatísticas multivariadas e modelos lineares mistos, que definiram diferentes estágios de desenvolvimento para o Pinheiro manso (*Pinus pinea* L.) considerando o tamanho da árvore e a produção de pinha, contudo, estes não abrangiam a informação geográfica. Este estudo estava focado no desenvolvimento de um método para a seleção dos melhores produtores de sementes de Pinheiro manso; (ii) e Rodrigues, A., *et al.*, (2014) “Linear Mixed Modelling of Cone Production for Stone Pine in Portugal”.

Este estudo visou a quantificação da produção de pinha em povoamentos de Pinheiro manso (*Pinus pinea* L.) segundo duas abordagens: utilização de modelos mistos clássicos e modelação Bayesiana longitudinal mista. Neste estudo foram utilizadas como variáveis independentes a largura das copas, a área basal por hectare, a altura das

árvores e a precipitação acumulada nos períodos de cinco anos, anteriores à recolha das pinhas.

No estudo de Rodrigues, A., *et al.*, (2014), resultaram como variáveis com grande influência para prever a produção de pinha, duas variáveis das árvores: a largura de copa (Cw), a altura da árvore (h); e uma variável da parcela: a área basal total por hectare (GT). Para esta dissertação utilizaram-se as três variáveis que apresentaram bons resultados para as previsões de produção de pinha de Rodrigues, A. *et al.* 2014 e a produção de pinha por árvore em peso (WTP) – Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios e amplitude (min. – máx.) da amostra.

	Média	Amplitude
Cw (m)	12	8 -17
h (m)	13	8 - 17
GT (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	12	4 - 25
WTP (kg)	61	2 - 342

Não tendo sido recolhidos dados para todas as variáveis nos três períodos de produção (Rodrigues, *et al.* 2014) neste trabalho optou-se por utilizar os valores totais para a produção de pinha (somatório dos três períodos) e os valores médios das restantes variáveis.

Numa primeira fase da investigação procedeu-se a uma recolha bibliográfica sobre a utilização dos SIG no setor florestal, as aplicações da geoestatística, o setor florestal em Portugal, e, mais concretamente, sobre o Pinheiro manso. Foram recolhidos estudos, publicações e dissertações sobre as temáticas em estudo. Os documentos oficiais, nomeadamente os planos territoriais, são uma ferramenta de informação utilizada ao longo de todo o trabalho. Foi necessário juntar os dados de amostra que foram previamente recolhidos pelo INIAV (Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária) e recolher cartografia que se correlaciona com a amostragem.

Numa segunda fase a informação recolhida foi analisada e feita uma nova revisão bibliográfica dos temas. Ainda nesta fase foi feita uma análise exploratória dos dados da amostra e a introdução dos dados georreferenciados no ArcGis, que posteriormente foi alvo de tratamento de informação com recurso à análise geoestatística dos dados,

complementada com informação cartográfica, análise espacial, modelação estatística da informação espacial e adequação do modelo, figura 10.

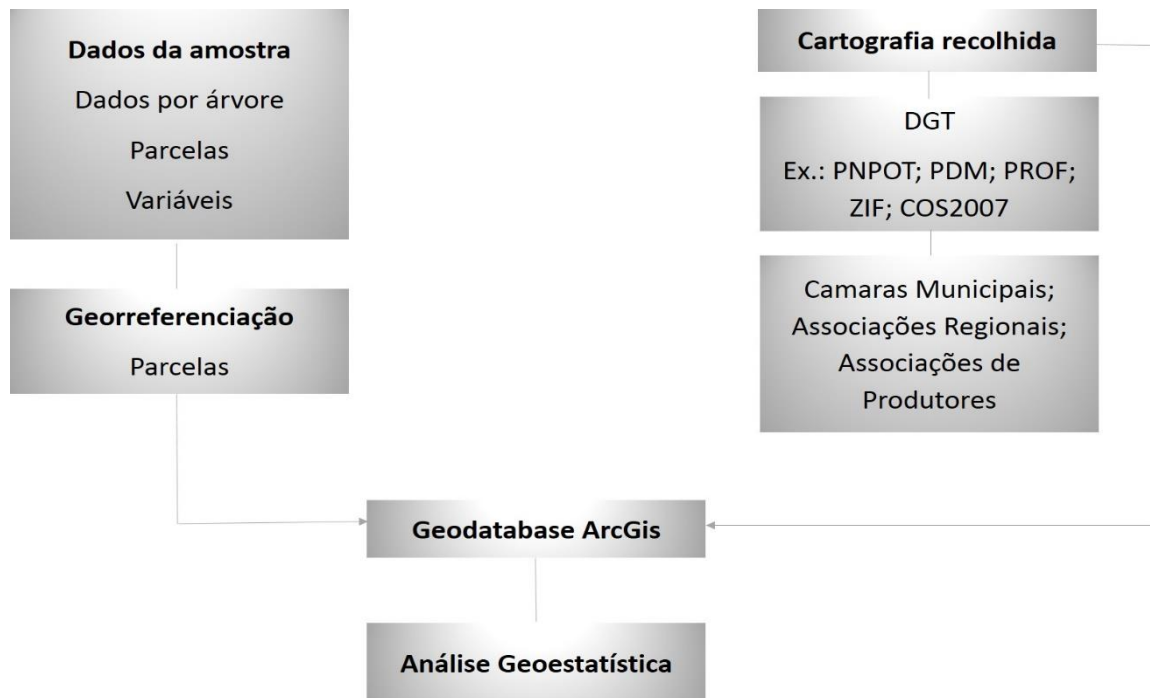


Figura 10 - Estrutura de organização dos dados.

Na fase final da dissertação pretende-se verificar o grau de realização dos objetivos, discussão dos resultados, tirar conclusões e apresentar propostas para trabalhos futuros.

Neste estudo foi utilizada a extensão *Geostatistical Analyst* no ArcGis 10.2.2, que utiliza o *Geostatistical Wizard* como plataforma de acompanhamento à realização dos *krigings*. O trabalho no ArcGis foi realizado de forma faseada, figura 11.

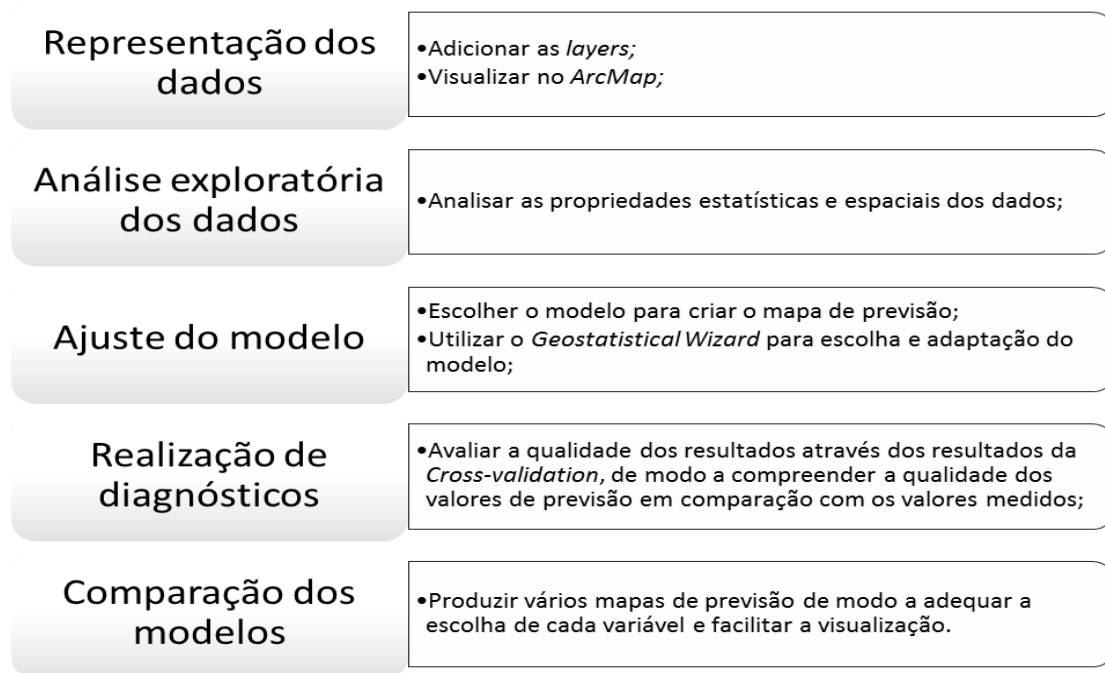


Figura 11 – Fases do processo de Análise Geoestatística no ArcGis (adaptado Johnston *et al.*, 2001).

## 4.2 Organização dos dados de campo

No início do trabalho os dados fornecidos foram reestruturados no Excel, criando as tabelas de base que foram posteriormente importadas no ArcGis.

Foi necessário converter as coordenadas de GPS existentes para cada parcela (Graus, Minutos Decimais) para Graus Decimais formato de coordenadas geográficas padrão em ambiente SIG, para importação no ArcGis.

A tabela de dados inicial estava organizada em dados por árvore que foram transformados para dados por parcela, sendo utilizados os valores médios das variáveis com exceção da variável de produção em que foi usado o valor total por parcela. Na tabela base foi criado um novo campo (*parcela*) que seria o campo de identificação da parcela e campo comum para importação da tabela no ArcGis para ligação com as coordenadas.

A informação base do trabalho foi organizada numa estrutura de base de dados geográfica, onde cada variável possui uma *feature class* independente. Toda a

informação inicial utilizada para este trabalho é do tipo “ponto”, com exceção dos limites dos concelhos que são do tipo “polígono”.

Importa referir que inicialmente foram trabalhadas duas amostras, a maior com 40 parcelas e a menor com 9 parcelas. Para a amostra menor (9 parcelas) havia existência de dados para os três períodos de produção (2004-2005, 2005-2006 e 2006-2007), e para a amostra maior (40 parcelas) existiam algumas falhas de dados.

No ArcGis foram criadas novas *shapefiles* para cada variável (nesta fase ainda para as duas amostras 40 parcelas e 9 parcelas).

Numa fase posterior do trabalho, já no *Geostatistical Analyst*, apenas se considerou a amostra maior visto que esta incluía as 9 parcelas da amostra menor e não iria haver grande relevância ou diferença nos resultados.

Após toda a organização e estruturação dos dados no ArcGis passou-se para a análise geoestatística com o uso da extensão *Geostatistical Analyst*.

#### **4.3 Aplicação *Geostatistical Analyst***

Antes de usar a geoestatística para obter mapas de previsão é necessária uma análise preliminar para verificar a normalidade e tendências direcionais dos dados (Ferreira, V., *et al.* 2015). A extensão *Geostatistical Analyst* possui um conjunto de ferramentas próprias para a análise exploratória de dados espaciais (*ESDA tools*).

A análise exploratória é o processo de uso de vários gráficos e outros métodos para explorar mais profundamente os dados, é útil para verificar as diferentes características dos dados em estudo. Antes de se fazer qualquer aplicação geoestatística ou previsão sobre os dados é obrigatório fazer a análise exploratória para que se possa ter uma visão clara sobre a natureza dos dados e a compatibilidade para a finalidade pretendida. O processo de análise exploratória ajuda a refinar a análise geoestatística no sentido de extrair a melhor informação possível para criar um modelo melhor (ESRI, 2010).

Vários métodos da *Geostatistical Analyst* exigem que os dados apresentem uma distribuição normal. Quando a distribuição dos dados é assimétrica pode ser necessário transformá-los para uma distribuição normal consoante o propósito que queremos conseguir. Na análise exploratória de dados utilizam-se o histograma e o *Normal QQ plot* para explorar os efeitos das diferentes transformações nos dados.

O histograma é a forma mais comum para mostrar graficamente como se distribuem os dados. De uma forma simples, um histograma é um gráfico de barras em que a altura das “barras” representa a frequência de cada classe, depois dos dados serem agrupados em classes. Apresentando graficamente o centro, a difusão, a assimetria e a presença de *outliers* nos dados, permitindo assim a escolha do modelo de distribuição adequada. O valor de assimetria (*skewness*) é o parâmetro estatístico mais comum para identificar uma distribuição normal, esta é confirmada quando os valores de *skewness* variam entre -1 e +1 (Ferreira, *et al.*, 2015).

Neste estudo foram analisados os histogramas para todas as variáveis e considerou-se necessário proceder à transformação logarítmica dos dados (método Log) na variável *WTP*, as variáveis *CW*, *h* e *GT* não precisaram de transformação visto que apresentam uma distribuição normal (ou simétrica).

Como podemos ver na figura 12, através dos valores de *skewness* para a variável *WTP* é perceptível que a distribuição está longe de ser normal com o valor de 2.33.

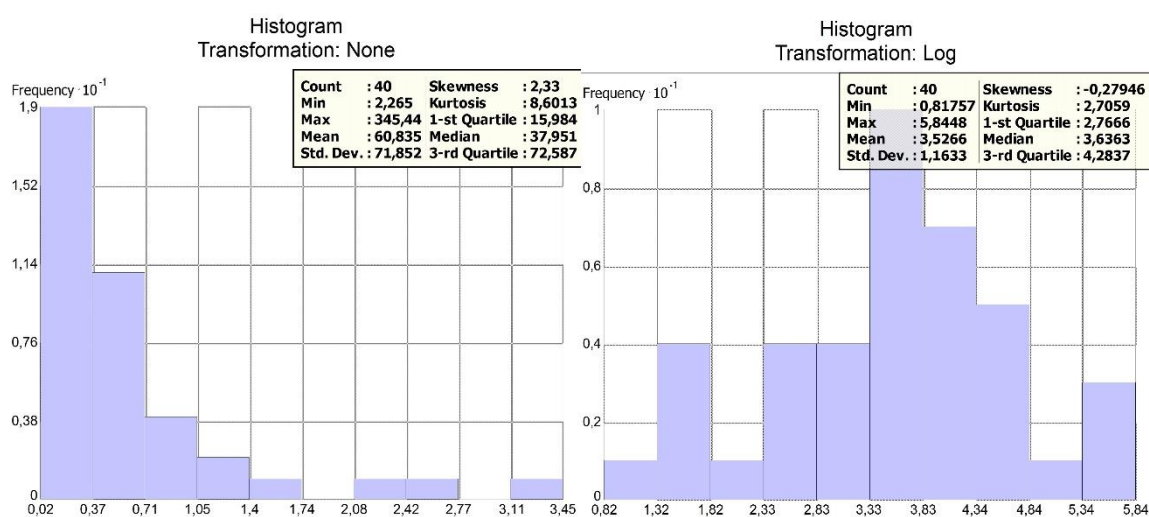


Figura 12 - Distribuição WTP com e sem transformação Log (ArcGis, ESRI).

Outro método da análise exploratória dos dados é o *Normal QQPlot*. Aqui faz-se a comparação dos dados com uma distribuição normal, providenciando outra forma de medir a normalidade dos dados. Quanto mais próximos estiverem os pontos, da linha reta, mais próximos estão de uma distribuição normal. Para as variáveis em estudo os resultados no *Normal QQPlot* foram semelhantes aos verificados nos histogramas.

Foi utilizada a ferramenta *Trend Analysis* para verificar a presença de alguma tendência global nos dados. Esta ferramenta apresenta uma perspectiva tridimensional dos dados. Os dados da amostra são colocados em vértices X, Y, e para cada ponto é dada uma linha em altura Z. A originalidade desta ferramenta é que os valores são então projetados num vértice X,Z e noutro Y,Z criando gráficos de dispersão. No entanto, esta análise não foi conclusiva e optou-se por realizar os *Krigings* com e sem remoção de tendências para posterior verificação dos resultados.

As *ESDA tools* incluem outras ferramentas para exploração prévia dos dados, para este estudo apenas se consideraram as descritas anteriormente.

#### **4.4 Implementação dos cálculos geoestatísticos**

Segundo os princípios teóricos referidos no Capítulo 2, a geoestatística assume que a variação espacial dos fenómenos naturais pode ser modelada por processos aleatórios de autocorrelação espacial. As técnicas de geoestatística podem ser utilizadas para prever valores de locais onde não foi recolhida amostra, para ter acesso ao grau de incerteza associado aos valores previstos e para modelar padrões espaciais.

Os métodos de interpolação geoestatística são métodos estocásticos, sendo o *kriging* o representante mais conhecido. Na extensão *Geostatistical Analyst* estão também incluídos a *Areal Interpolation* e o *Empirical Bayesian Kriging* são métodos de interpolação com base em *Kriging*. No entanto, neste estudo o foco manteve-se apenas nos métodos de *Kriging*.

No *kriging* são calculados pesos para os pontos da amostra com derivação para os pontos previstos, os pesos são baseados não só na distância entre os pontos, mas



também na variação entre os pontos medidos em função da distância. O processo de *kriging* é composto por duas partes – a análise da variação espacial e o cálculo dos valores previstos.

A variação espacial é analisada através de semivariogramas, em que é localizada no mapa e representada também em gráfico, a variação de pares de valores medidos em função da distância entre eles. Depois, é ajustado um modelo paramétrico ao semivariograma empírico para calcular os pesos das distâncias na interpolação. O *kriging* seleciona os pesos, de modo a que as estimativas sejam imparciais e a variância seja minimizada. Este processo é semelhante à análise de regressão, visto que é ajustada uma linha curva aos pontos no semivariograma. Identificar o melhor modelo pode significar a execução e avaliação de um grande número de modelos, um processo que se tornou mais simples devido aos *softwares* existentes. Para esta dissertação foram realizados cerca de 96 *krigings* com diferentes parametrizações.

Um modelo típico de semivariograma como referido no subcapítulo 2.1, apresenta várias componentes. O *lag size* é um parâmetro que pode ser definido pelo utilizador no *Geostatistical Analyst Wizard*, a seleção deste valor tem efeitos importantes no semivariograma empírico. Visto que, por exemplo, se o *lag size* for muito grande, um valor de pouca dimensão de autocorrelação pode ficar disfarçado. Para determinar o *lag size* foi utilizada a ferramenta *Average Nearest Neighbor* da *arctoolbox* para determinar a distância média entre os pontos e os seus vizinhos mais próximos. Deste modo é encontrado um razoavelmente bom *lag size* visto que, cada *lag* conterà sempre alguns pares de pontos. O valor a utilizar do relatório de resultados da ferramenta é o *NNObserved* que representa a distância média entre os vizinhos mais próximos. O valor utilizado para todos os *krigings* realizados foi 1186,82, figura 13.

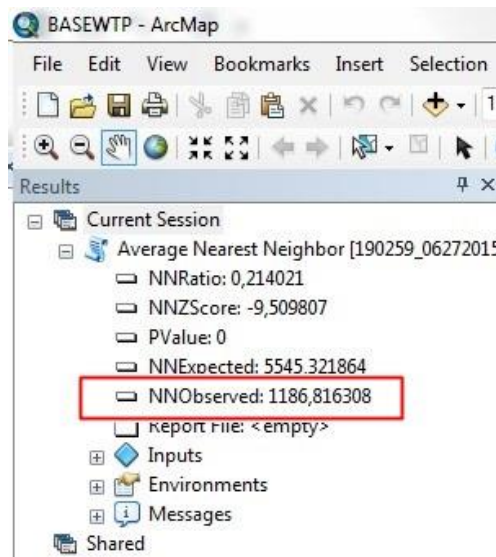


Figura 13 - Lag size (ArcGis, ESRI).

O semivariograma é usado para quantificar a autocorrelação espacial entre os dados. Para cada interpolação podem ser escolhidos diferentes tipos de modelos de semivariograma, nesta dissertação foram apenas considerados três modelos mais comuns – exponencial, gaussiano e esférico – de modo a encontrar o melhor modelo de *kriging*,

Para além da escolha do modelo de semivariograma, existem outros parâmetros que podem ser alterados nesta fase do processo de *kriging*. Nos casos em que uma propriedade apresenta estruturas de correlação diferentes em diferentes direções, designado por *anisotropia*, esta deve ser considerada e alterada (*true* ou *false*) para adequação do semivariograma.

Nesta dissertação assumiu-se que a estrutura de correlação espacial é a mesma em todas as direções, ou *isotrópica* (*false*). Neste caso a função de covariância e o semivariograma dependem apenas da magnitude do vetor do *lag*, e não na direção.

Os modelos de semivariograma foram aplicados usando o procedimento empírico, foram realizados os três modelos de semivariograma (Exponencial, Gaussiano, Esférico) para cada modelo diferente de *kriging* e para cada variável, deixando a escolha de adequação do modelo para uma fase posterior.

Após a escolha do semivariograma mais adequado, o *kriging* cria um mapa de previsão para toda a área de estudo usando os pesos calculados baseados no modelo de semivariograma e nos valores e localizações dos pontos da amostra. Para determinar de uma forma empírica qual o melhor modelo para o semivariograma, pode-se fazer uma análise visual da forma do semivariograma.

Como o modelo de *kriging* utiliza modelos estatísticos, é necessário ter em consideração que é assumido que a variação espacial é homogênea em toda a área de estudo e depende apenas da distância entre os pontos medidos. Os diferentes tipos de *kriging* comportam também alguns aspectos a ter em conta. O *Simple Kriging* (SK) assume que é conhecida uma média constante na amostra, que não existe uma tendência subjacente, e que toda a variação é estatística. O *Ordinary Kriging* (OK) é semelhante mas considera que existe uma média constante que não é conhecida mas que deve ser feita uma previsão baseada nos dados da amostra. O *Universal Kriging* (UK) difere dos dois métodos anteriores porque assume que existe uma tendência espacial que explica em parte a variação na amostra (Baldrige, 2004). Estes foram os três modelos de *kriging* utilizados neste estudo.

O maior benefício dos vários modelos de *kriging* são as estimativas da incerteza das previsões que podem ser calculadas, consideradas na análise e representadas no mapa de previsão. A informação sobre a incerteza é uma ferramenta importante no processo de tomada de decisão.

Os mapas de previsão, como referido no Capítulo 2, foram criados com os métodos geoestatísticos - *Ordinary Kriging*, *Universal Kriging* e *Simple Kriging*. Para os mapas de previsão de produção de pinha em Pinheiro manso (WTP) e para as outras variáveis em estudo foram aplicados os mesmos métodos geoestatísticos. De modo a comparar os diferentes métodos de interpolação e escolher o melhor mapa de previsão ou o melhor *kriging* foram utilizadas os valores apresentados no passo de *cross-validation* (*Geostatistical Analyst Wizard*).

O *cross-validation* é o último passo do *Geostatistical Analyst Wizard* antes de apresentar o mapa de previsão, e que permite fazer uma escolha informada sobre qual o modelo que apresenta as melhores previsões. As estatísticas calculadas servem como

diagnóstico que indicam se os valores utilizados para os parâmetros e modelos são razoáveis. Neste passo a *Geostatistical Analyst* apresenta vários gráficos e valores de medição *versus* valores previstos, são também apresentados alguns valores estatísticos sumários dos erros de previsão do *kriging*. Os valores estatísticos dos erros de previsão foram a base da escolha dos *krigings* com os seguintes critérios, aplicados de forma sequencial (Johnston, *et al.*, 2001):

1. O valor de *mean prediction error* (MPE) deveria estar perto de zero, de modo a que os erros de previsão sejam imparciais;
2. Quanto menor o *Root-mean-square prediction* (RMSP) *error* melhor, para que as previsões tenham valores mais próximos possível dos valores medidos;
3. O valor de *average standard error* (ASE) deve estar próximo do valor de *root-mean-square prediction errors*, para que a avaliação da variabilidade da previsão seja correta;
4. O valor *Root-mean-square standardized error* (RMSSE) deve ser próximo de um.

Após a realização de cada *kriging* é criada uma nova *layer* no ArcGis, as *layers* da *Geostatistical Analyst* (*geostatistical layer*) são diferentes das outras *layers* do ArcGis pela forma como são criadas e armazenadas. As *geostatistical layers* armazenam a fonte dos dados de onde foram criadas (normalmente de uma *feature* de pontos), a simbologia e outras características que as definem, mas também, armazenam os parâmetros do modelo de interpolação que podem ser redefinidos em qualquer momento.

De modo a facilitar a análise dos resultados optou-se por transformar as *layers* dos *krigings* em *shapefiles*. Com esta exportação perde-se a informação inerente à *geostatistical layer* ficando apenas uma nova *feature* com classes para cada *kriging*, que permitem sobreposições e outras formas de análise que com a *geostatistical layer* não era possível. Optou-se pela criação de um campo na tabela de atributos para cálculo das áreas de previsão para cada classe em cada variável. Após a criação das novas *shapefiles* com os resultados dos *krigings* foi necessário recorrer à ferramenta de *clip* visto que o *Geostatistical Wizard* efetua os cálculos de *kriging* para toda a área de projeto. Foram

escolhidos dois *krigings* para cada variável de modo a possibilitar a comparação entre modelos.

As variáveis apresentaram melhores resultados com o *Simple Kriging* (SK) e com o *Ordinary Kriging* (OK), não havendo nenhum *Universal Kriging* que apresentasse resultados geoestatísticos adequados. Quanto aos modelos de semivariograma adequaram-se melhor com o Exponencial e o Esférico, sendo que o modelo Gaussiano só foi o mais adequado numa das escolhas de *krigings*. Visualmente os *outputs* dos *krigings* são diferentes na forma, os mapas originários dos *Ordinary Kriging* apresentam recortes mais geométricos enquanto que, os *Simple Kriging* apresentam formas mais curvilíneas.

Os mapas de *kriging* obtidos com a geoestatística são uteis para entender melhor a variabilidade espacial. De modo a facilitar a leitura dos resultados para todos os *krigings* escolhidos foram atribuídas cinco classes, sendo exceção a variável WTP que não apresentava variação suficiente.

Na última fase do trabalho, realizou-se o cruzamento dos resultados obtidos da análise geoestatística com a Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007) e análise das metas previstas na Estratégia Nacional Florestal (revista em 2015) e dos Planos Regionais de Ordenamento Florestal (PROF) para o Pinheiro manso. Considerou-se a utilização da COS2007 nível 5, por ser uma cartografia com grande detalhe e por o seu fornecimento ser gratuito pela Direção Geral do Território (DGT), no âmbito da iniciativa de dados abertos (DGT, iGeo).

Nesta fase foi utilizado o *kriging* SK6, para a variável da produção (WTP), em que a classe que apresenta valores mais elevados de previsão de produção (38-82 kg) representa cerca de 345 mil hectares. Esta classe abrange em parte ou na sua totalidade os concelhos de Chamusca, Coruche, Montemor-o-Novo, Vendas Novas, e Alcácer do Sal; A classe intermédia (14-38 kg) abrange uma área de 189572 ha de parte dos concelhos da Chamusca, Coruche, Montemor-o-Novo, Setúbal, Alcácer do Sal e Grândola. A classe com valores mais baixos (até 14kg) representa uma área de 148276 ha e abrange parte dos concelhos de Setúbal e Grândola, e a totalidade do concelho de Santiago do Cacém.

O nível 5 da COS2007 é o que apresenta mais detalhe na descrição de cada ocupação e uso do solo, para o cruzamento com o *kriging* da produção definiram-se seis grupos, segundo os códigos de descrição (tabela 8).

Tabela 8 – Grupos definidos da COS2007 para áreas de expansão de Pinheiro manso.

Código COS2007	Grupo 1 - Pinheiro Manso
3.1.2.01.2	Florestas de pinheiro manso
3.1.2.02.2	Florestas de pinheiro manso com resinosas
3.1.3.02.2	Florestas de pinheiro manso com folhosas
3.2.4.03.2	Florestas abertas de pinheiro manso
3.2.4.04.2	Florestas abertas de pinheiro manso com resinosas
3.2.4.06.2	Florestas abertas de pinheiro manso com folhosas
	Grupo 2 - Matos / Cortes Rasos / Vegetação esclerófito
3.2.2.01.1	Matos densos
3.2.2.02.1	Matos pouco densos
3.2.3.01.1	Vegetação esclerófito densa
3.2.3.02.1	Vegetação esclerófito pouco densa
3.2.4.08.1	Cortes rasos
	Grupo 3 - Pastagens
2.3.1.01.1	Pastagens permanentes
	Grupo 4 - Pinheiro Bravo
3.1.2.01.1	Florestas de pinheiro bravo
3.1.2.02.1	Florestas de pinheiro bravo com resinosas
3.1.3.02.1	Florestas de pinheiro bravo com folhosas
3.2.4.03.1	Florestas abertas de pinheiro bravo
3.2.4.04.1	Florestas abertas de pinheiro bravo com resinosas
3.2.4.06.1	Florestas abertas de pinheiro bravo com folhosas
	Grupo 5 - Áreas mistas de folhosas e resinosas
3.1.3.01.1	Florestas de sobreiro com resinosas
3.1.3.01.2	Florestas de azinheira com resinosas
3.1.3.01.3	Florestas de outros carvalhos com resinosas
3.1.3.01.4	Florestas de castanheiro com resinosas
3.1.3.01.5	Florestas de eucalipto com resinosas
3.1.3.01.6	Florestas de espécies invasoras com resinosas
3.1.3.01.7	Florestas de outra folhosa com resinosas
3.1.3.01.8	Florestas de misturas de folhosas com resinosas
3.1.3.02.4	Florestas de misturas de resinosas com folhosas
3.2.4.05.1	Florestas abertas de sobreiro com resinosas

3.2.4.05.2	Florestas abertas de azinheira com resinosas
3.2.4.05.3	Florestas abertas de outros carvalhos com resinosas
3.2.4.05.4	Florestas abertas de castanheiro com resinosas
3.2.4.05.5	Florestas abertas de eucalipto com resinosas
3.2.4.05.6	Florestas abertas de espécies invasoras com resinosas
3.2.4.05.8	Florestas abertas de misturas de folhosas com resinosas
3.2.4.06.4	Florestas abertas de misturas de resinosas com folhosas
	Grupo 6 - Sistemas Agroflorestais
2.4.4.01.6	SAF de outras misturas com culturas temporárias de sequeiro
2.4.4.03.4	SAF de outras espécies com pastagens
2.4.4.03.6	SAF de outras misturas com pastagens
2.4.4.04.4	SAF de outras espécies com culturas permanentes
2.4.4.04.6	SAF de outras misturas com culturas permanentes

Os grupos são considerados áreas para expansão de Pinheiro manso, que foram cruzadas por ordem hierárquica com a classe mais elevada do SK6. De salientar que este cruzamento e as áreas apresentadas são apenas indicativas de áreas possíveis de expansão do Pinheiro manso, com base na análise geoestatística realizada. Para implementação destas áreas seria necessário cruzamento com dados edafoclimáticos, biogeográficos e com especial atenção ao regime jurídico aplicável às ações de arborização e rearborização (RJAAR) (Decreto-Lei n.º 96/2013, de 19 de julho).

## Capítulo 5 - Resultados e Discussão

Os *krigings* escolhidos resultaram da análise dos valores da *cross-validation* como referido no ponto 4.4. Estes valores resultam da comparação entre os valores de previsão do semivariograma e os valores reais observados, tabela 9 (tabela síntese geral de *krigings* - anexo 3)

Tabela 9 – *Krigings* escolhidos.

<i>Kriging</i>	Variável	Tipo de <i>Kriging</i>	Semi variograma	Mean Prediction Error	Root-mean-square	Average standard error	Root-mean-square standardized
OK16	Cw	Ordinary	Exponencial	0,08	2,43	2,18	1,07
SK18	Cw	Simple	Esférico	0	2,36	2,04	1,16
OK37	h	Ordinary	Exponencial	0,04	2,29	2,34	0,76
OK44	h	Ordinary	Esférico	0	2,34	0,1	0,9
OK22	GT	Ordinary	Gaussiano	0,14	4,03	3,5	1,15
SK26	GT	Simple	Esférico	-0,07	4,01	3,36	1,18
SK6	WTP	Simple	Exponencial	-0,61	66,57	2,3	0,94
SK8	WTP	Simple	Esférico	-1,85	65,55	2,28	0,99

Para a variável Largura de copa (Cw) foram escolhidos os *krigings* OK16 e SK18, visto que: apresentaram valores de *Mean Prediction Error* próximos de zero, 0.08 e 0 respetivamente; dos 24 *krigings* realizados para esta variável estes foram os que apresentaram valores menores para o *Root-mean-square*, 2.43 e 2.36; apresentaram os valores de *Average standard error* e *Root-mean-square* mais próximos, o OK16 apresentou resultados de 2.43 e 2.18 para estes critérios, e o SK18, 2.36 e 2.04; e os valores de *Root-mean-square standardized* foram os mais próximos de um (1.07 e 1.16).

Na variável altura das árvores (h), foram dois *Ordinary krigings* que apresentaram melhores resultados, OK37 e OK44. Os resultados de *Mean Prediction Error* foram 0.04 e 0, respetivamente, cumprindo o critério de serem os mais próximos de zero. No *Root-mean-square*, estes dois *krigings* apresentaram os valores mais baixos (2.29 e 2.34). Quanto ao critério de proximidade entre os valores de *Average standard error* e *Root-mean-square* o OK37 apresentou valores muito próximos apenas com uma diferença de 0.05, o OK44 apresentou uma diferença maior entre os dois valores (2.24), no entanto de todos os *krigings* realizados para esta variável e de acordo com os



restantes critérios estes dois *krigings* foram os mais adequados. No último critério o OK37 e OK44 apresentaram valores de *Root-mean-square standardized* muito próximos de 1 (0.76 e 0.9).

Para a área basal por hectare (GT) foi um *ordinary kriging* (OK22) e um *simple kriging* (SK26) que melhor cumpriram os critérios apresentados pela *cross-validation*. Os valores de *Mean Prediction Error* foram próximos de zero (0.14 e -0.07). Os valores de *Root-mean-square*, foram 4.03 e 4.01, respetivamente, sendo os mais baixos em conformidade com os restantes critérios. Nesta variável estes valores foram os mais próximos dos valores de *Average standard error* apresentado diferenças entre os dois valores de 0.53 (OK22) e 0.65 (SK26). Os valores de *Root-mean-square standardized* foram 1.15 e 1.18, situando-se próximos de um.

Na variável da produção de pinha (WTP), os *krigings* que apresentaram melhores resultados foram dois *simple krigings*, o SK6 e o SK8. Comparativamente com as variáveis anteriores, os valores conseguidos para esta variável foram diferentes para os critérios de seleção da *cross-validation*. No entanto, para a WTP estes foram os *krigings* que apresentaram melhores resultados para os critérios de seleção. Os resultados de *Mean Prediction Error* foram -0.61 (SK6) e -1.85 (SK8), sendo os valores que ficaram mais próximos de zero. Os valores menores de *Root-mean-square* foram 66.57 (SK6) e 65.55 (SK8). Os valores de *Average standard error* e *Root-mean-square*, que ficaram mais próximos nesta variável foram 66.57 e 2.3 no SK6, e 65,55 e 2,28 no SK8. Os valores de *Root-mean-square standardized* foram os mais próximos de um, 0.94 (SK6) e 0.99 (SK8).

### **5.1 Kriging da largura de copa (Cw)**

Para a variável Cw (crown width/largura de copa) foi escolhido um *Ordinary Kriging*, OK16 e um *Simple Kriging*, SK18. Nestes dois *krigings* não foi necessário aplicar nenhum método de transformação de dados, como referido anteriormente no ponto 4.3, visto que os valores desta variável apresentavam um valor de *skewness* de 0.31 (figura 14), logo a sua distribuição é considerada normal, foram removidas as tendências em ambos os *krigings*.

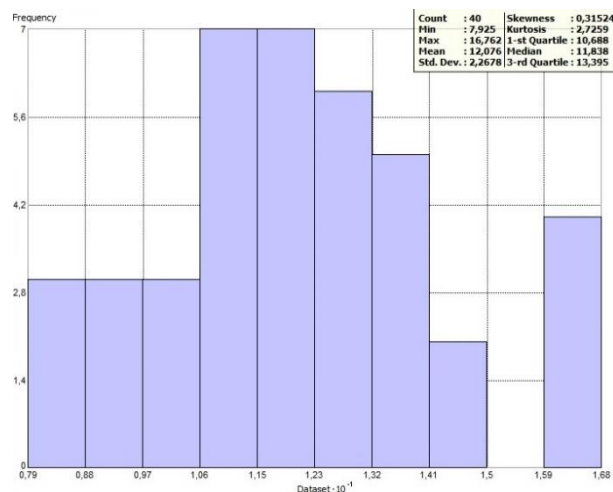


Figura 14 – Histograma Cw (ArcGis).

O modelo de semivariograma Exponencial foi o que apresentou melhores resultados nos dois tipos de *kriging*.

No OK16 (figura 15) podemos verificar que os valores previstos para a variável Cw, variam entre 10m e 17m diferindo dos valores iniciais que apresentavam uma amplitude entre 8 e 17m. Nas duas classes mais elevadas situam-se 11 parcelas, variando entre os 13m e os 17m. Estas duas classes representam cerca de 173348 ha, cerca de 25% da área total.

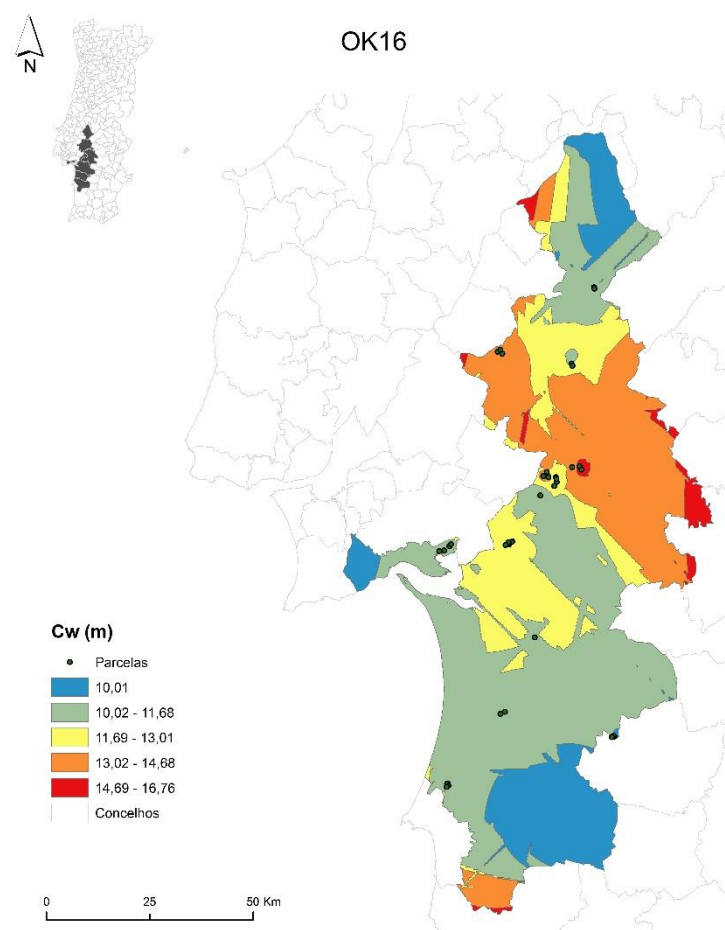


Figura 15 – Kriging largura de copa (OK16).

No SK18 (figura 16) podemos verificar que os valores previstos para a variável Cw, variam entre 9.06m e 13.29m diferindo dos valores iniciais que apresentavam uma amplitude de 8 - 17m. A maioria das parcelas encontra-se nas duas classes mais elevadas, variando entre os 11.39m e os 13.29m, sendo que apenas oito se situam na classe que varia aproximadamente entre os 10m e os 11.39m. Estas duas classes representam cerca de 274 916 ha, cerca de 40% da área total.

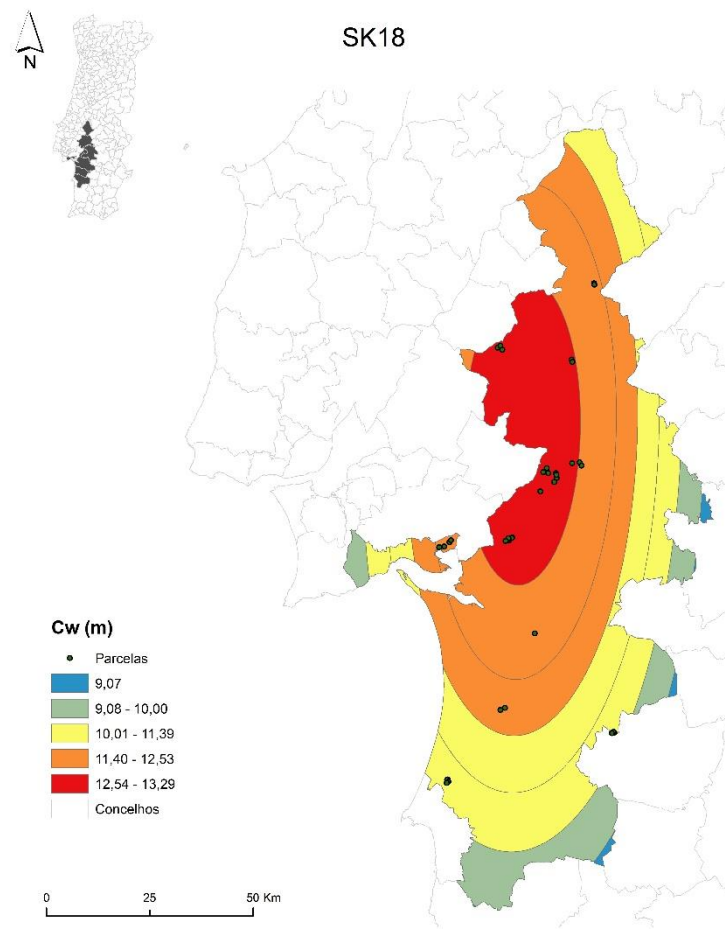


Figura 16 – *Kriging* largura de copa (SK18).

## 5.2 *Kriging* da altura das árvores (h)

Para a altura das árvores (h) foi o *ordinary kriging* que melhor se adequou, apresentando valores de *Mean Prediction Error* muito próximos de zero, com modelo de semivariograma exponencial no OK37 (figura 17) e esférico no OK44 (figura 18). Para estes *krigings* não foi necessária transformação, mas no OK44 foi aplicada a remoção de tendências.

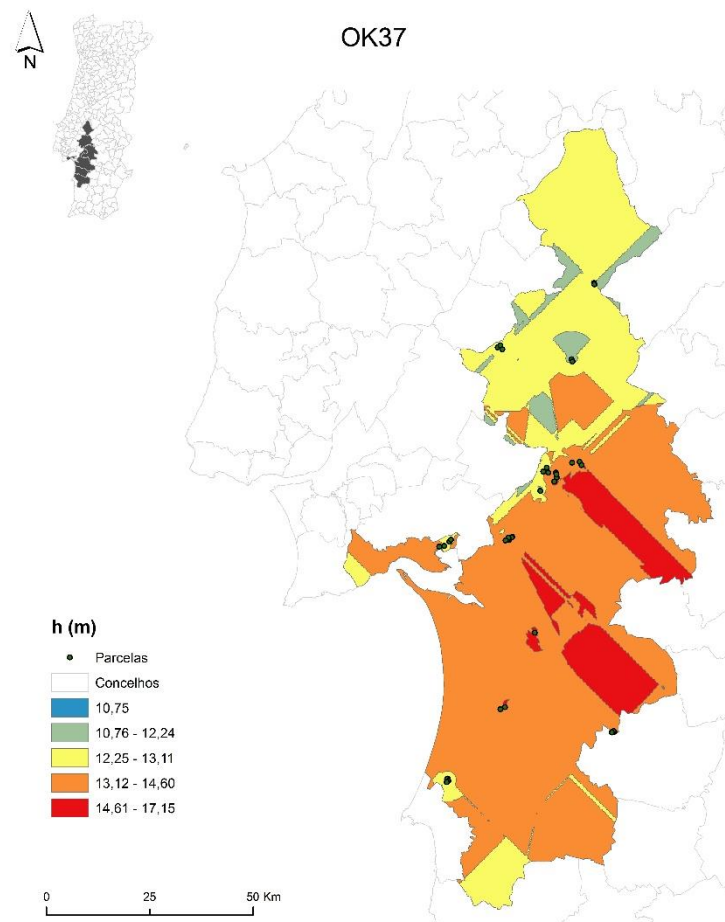


Figura 17 – *Kriging* altura das árvores (OK37).

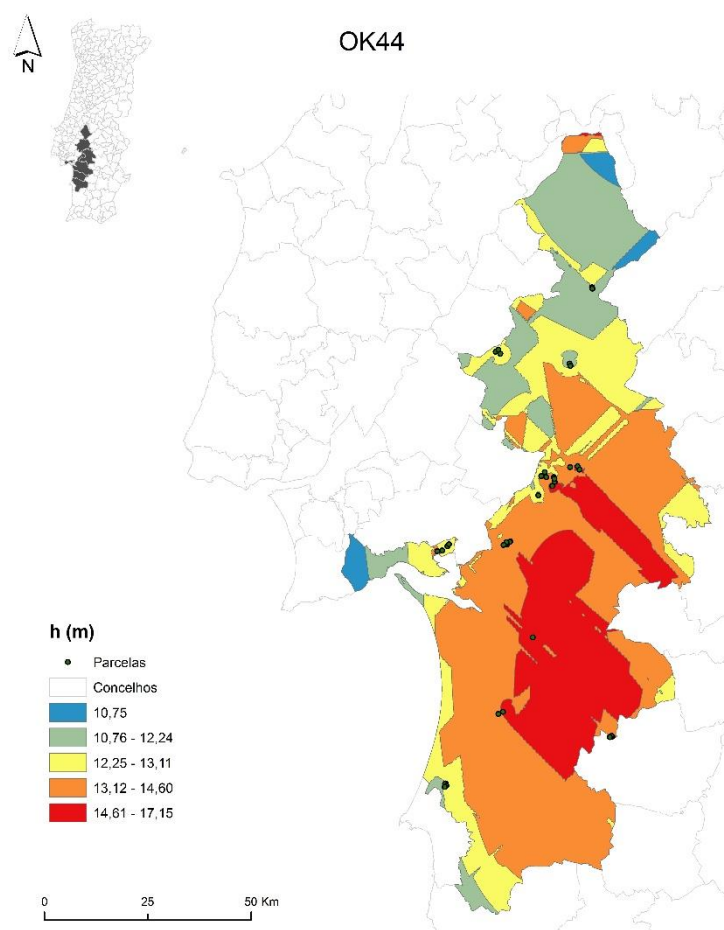


Figura 18 – *Kriging* altura das árvores (OK44).

Para esta variável a classe mais elevada varia entre os 15 e os 17m aproximadamente. No OK37 esta classe representa 61570 ha e no OK44 136461 ha, cerca de, respetivamente, 9% e 20% da área total. Nos dois *krigings* escolhidos para a variável *h*, o concelho da Chamusca é o que apresenta valores mais baixos na área em estudo.

### 5.3 *Kriging* da área basal (GT)

Para a variável área basal por hectare (GT), adequaram-se melhor os resultados do *Ordinary Kriging* e do *Simple Kriging*, com semivariogramas Gaussiano (OK22) e Esférico (SK26).

Pela análise dos mapas assume-se que as previsões para a área basal apresentam maiores resultados no Sudoeste da área de estudo. No OK22 as classes com previsão para maior GT com valores entre 12,5 e os 25,3 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup> representam cerca de 229651 ha (figura 19), no SK26 a área de previsão sobe ligeiramente para 235424 ha, cerca de 25% da área total (figura 20).

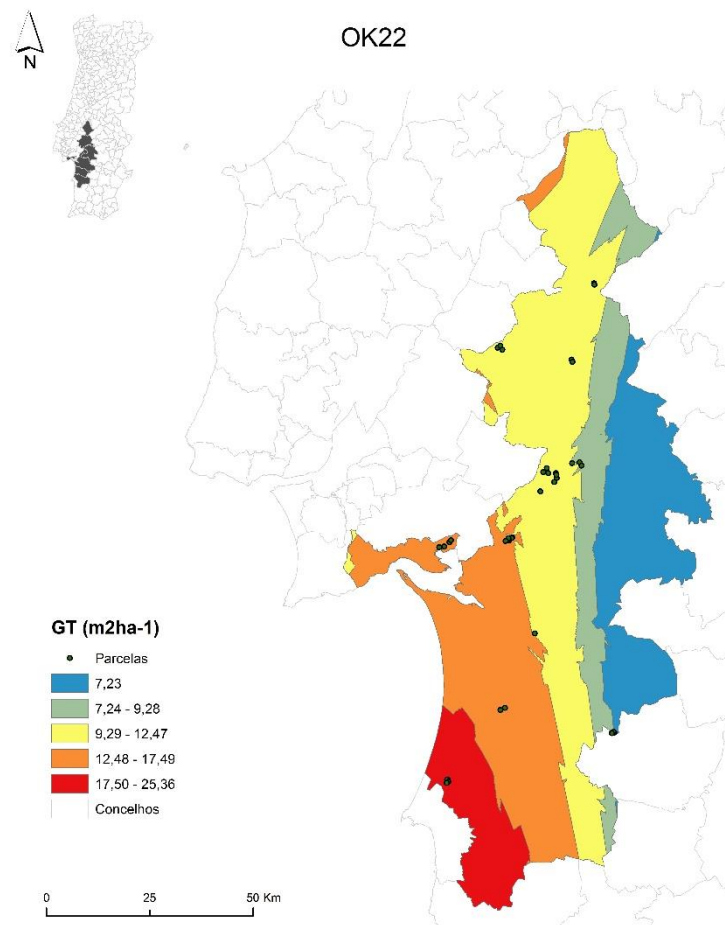


Figura 19 – Kriging de área basal (OK22).

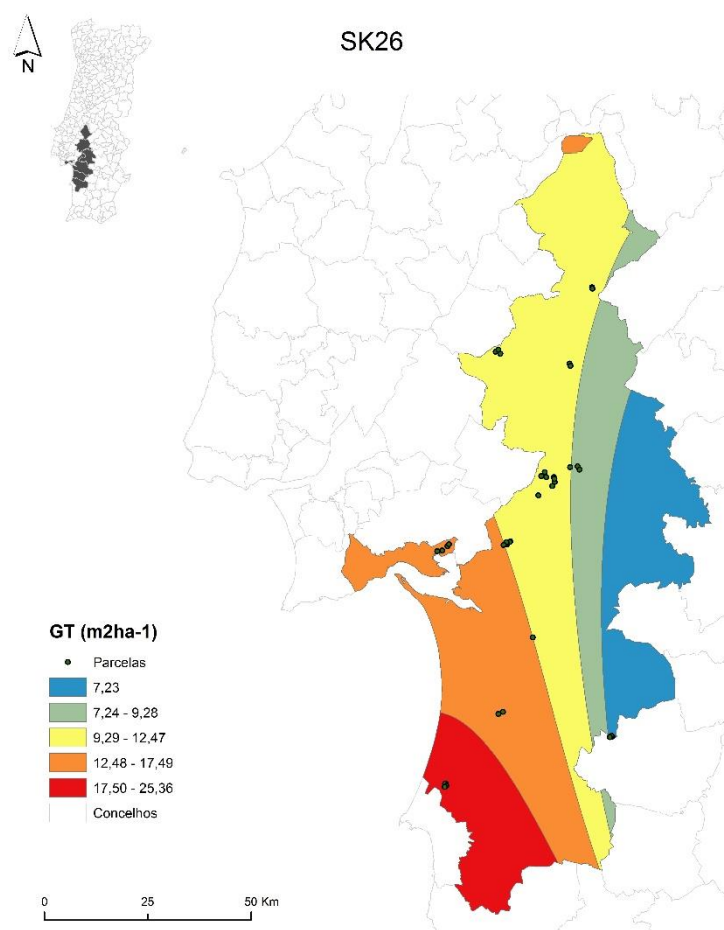


Figura 20 – *Kriging* de área basal (SK26).

#### 5.4 *Kriging* da produção de pinha (WTP)

Pela análise dos resultados geoestatísticos para a variável de produção de pinha em kg (WTP) foram os SK6 e SK8 (*Simple Kriging*) que, segundo os critérios de escolha com base nos valores estatísticos dos erros de previsão, apresentaram os melhores resultados.

Para esta variável que apresentava valores que variavam entre 2 e 342kg nas parcelas da amostra, nos *krigings* as amplitudes ficaram diferentes variando entre os 14 e os 82kg no SK6 e os 14 e 171kg no SK8. De salientar que depois de se fazer o *clip*, tanto no SK6 como no SK8, inevitavelmente os valores ficam distribuídos apenas por três e quatro classes respetivamente, sem hipótese de reclassificação.



No SK6 a classe que apresenta os maiores valores para a WTP varia entre 37 e os 82kg, abrangendo uma área de 345 056 ha, que representa 51% do total de área em estudo (figura 21).

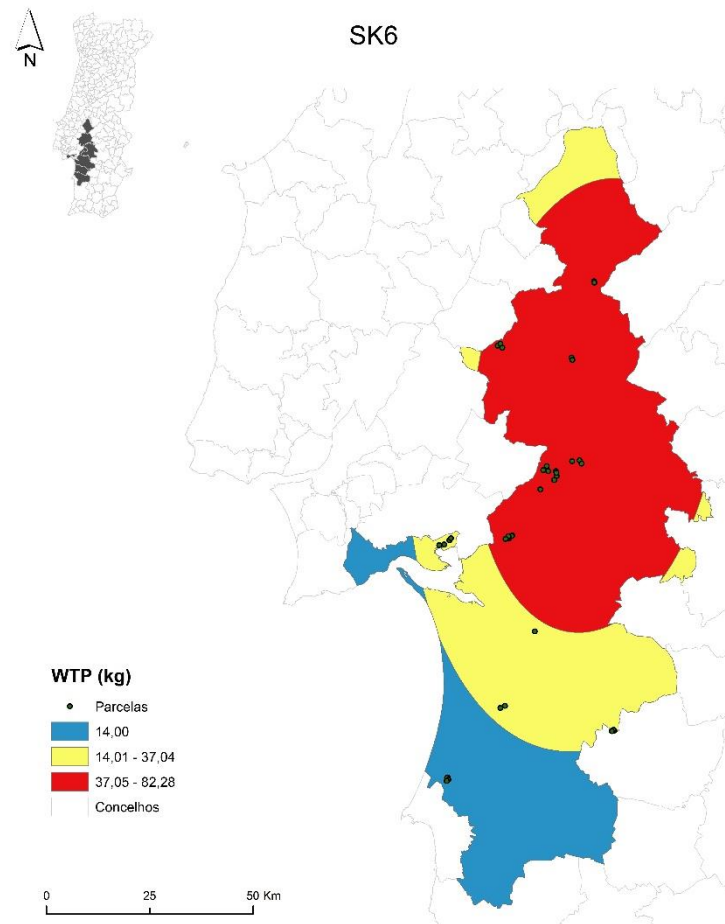


Figura 21– Kriging produção de pinha (SK6).

No SK8 as duas classes mais elevadas variam entre os 37 e os 171kg aproximadamente, representando uma área de 328 196 ha (48% da área total) - figura 22.

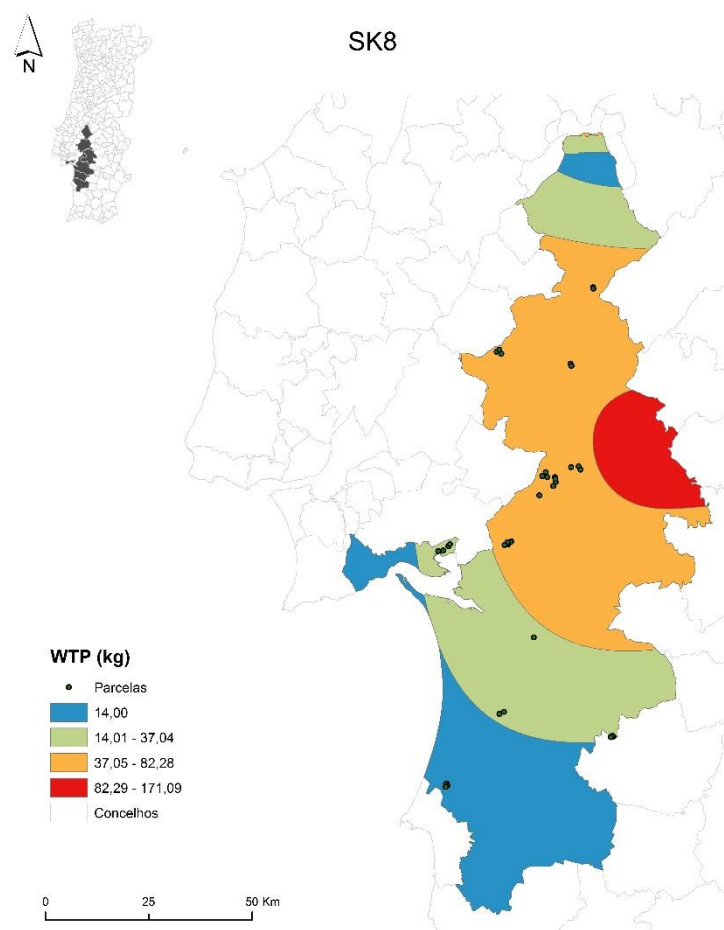


Figura 22 – *Kriging* produção de pinha (SK8).

Para os cruzamentos da WTP com as restantes variáveis, apresentados nos pontos seguintes, foi considerado o *kriging* SK6 por apresentar uma área maior para a classe com valores mais elevados (345056 ha).

### 5.5 *Kriging* largura de copa e produção de pinha

Ao analisar a sobreposição da largura da copa (Cw) com a produção de pinha (WTP) verificamos que a interseção das áreas com maior largura de copa e as áreas de maior produção de pinha gera uma área de 113982 ha, para os *krigings* SK18 e SK6. Segundo Rodrigues, A. *et al.* 2014, é de esperar que quanto maior for a Cw e h, maior

será a probabilidade de obter maiores valores de WTP, logo o cruzamento dos valores mais elevados destas variáveis geram áreas de maior propensão à produção (figura 23).

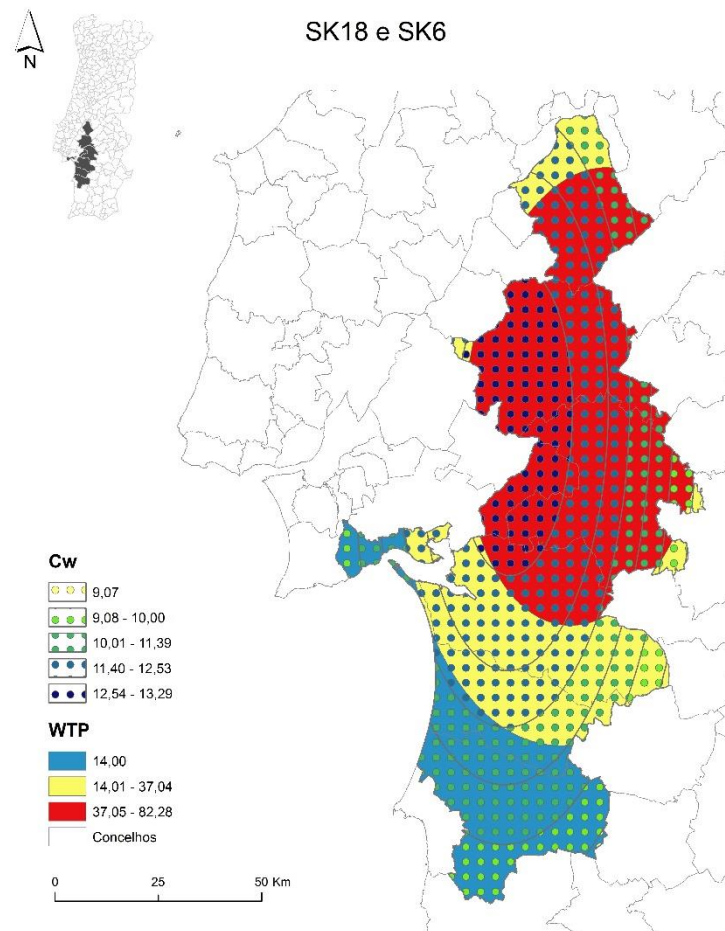


Figura 23 – *Kriging* largura de copa e produção de pinha.

### 5.6 *Kriging* altura das árvores e produção de pinha

A altura das árvores (h) é outra variável com influência nos valores da produção de pinha (WTP), na interseção destas duas variáveis com os *krigings* OK44 e SK6 - figura 24, obtemos uma área de 59263 ha, em que tanto a WTP como a h apresentam os valores mais altos das classes dos *krigings*.

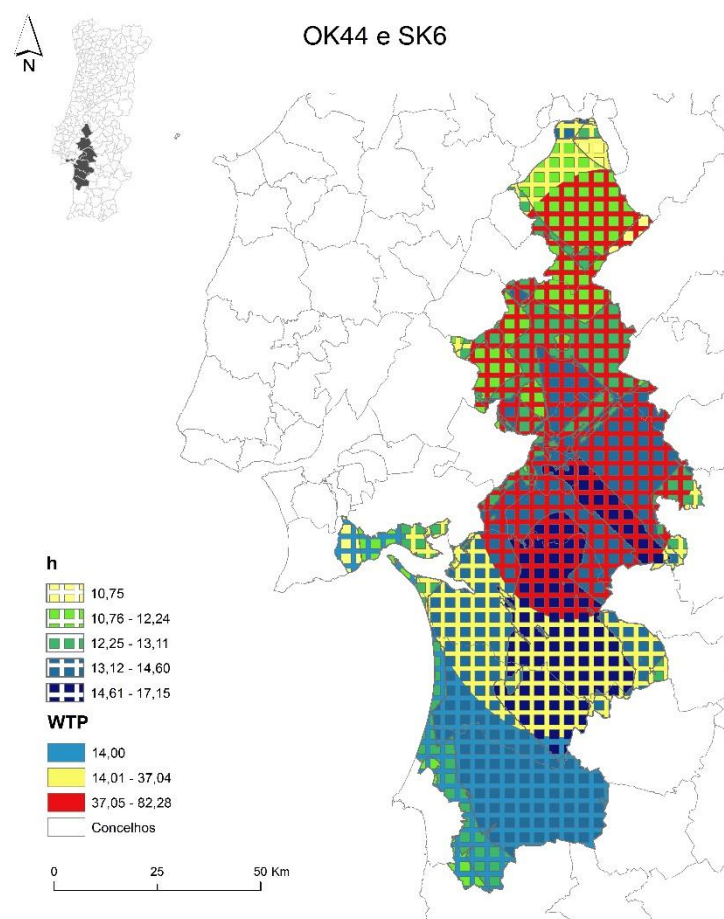


Figura 24 – *Kriging* altura das árvores e produção de pinha.

### 5.7 *Kriging* área basal e produção de pinha

Com as variáveis GT (área basal por hectare) e WTP (produção de pinha) acontece um fenómeno que não aconteceu com as variáveis anteriores, as classes dos *krigings* mais elevadas das duas variáveis não têm qualquer interseção. A classe mais alta de GT encontra-se a Sul da área de estudo abrangendo o concelho de Santiago do Cacém e um pouco de Grândola, enquanto que a classe mais alta de WTP abrange os concelhos de Montemor-o-Novo, Alcácer do Sal, Vendas Novas, Coruche e Chamusca. Nos *krigings* SK26 e SK6 (figura 25), a interseção da classe mais alta de WTP e considerando as classes de GT que variam entre os 9,27 e os 17,49 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>, representa uma área de 180781 ha, cerca de 26% da área total.

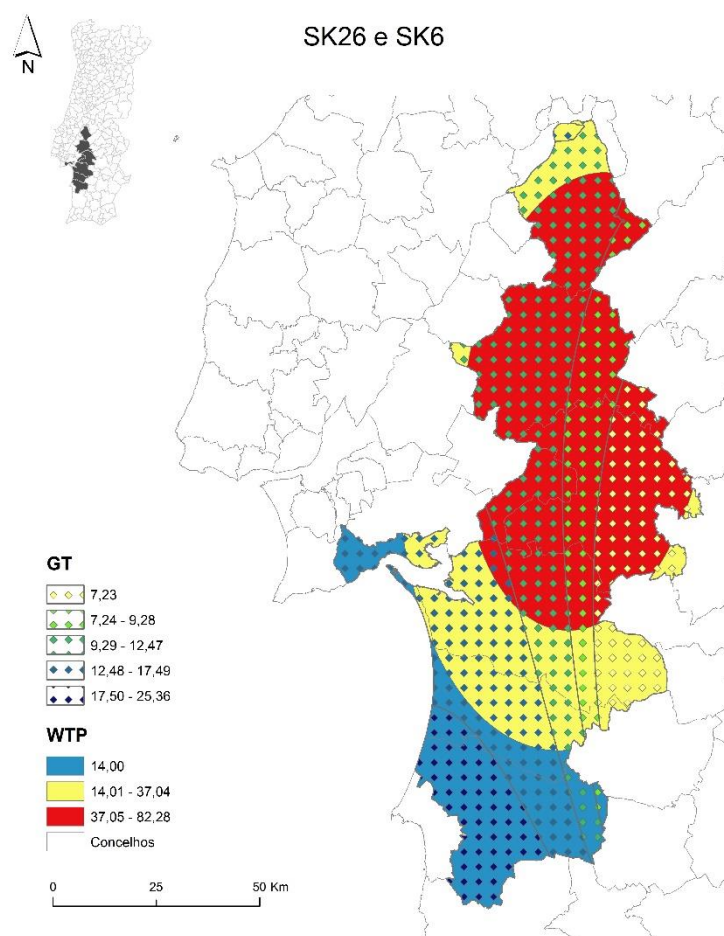


Figura 25 - Kriging área basal e produção de pinha.

### 5.8 Krigings da largura de copa, altura das árvores, área basal e produção de pinha

Através da interseção de todas as variáveis com a WTP, podemos verificar que os concelhos que apresentam maiores áreas de probabilidade de produção de pinha em Pinheiro manso, da área de estudo, são Alcácer do Sal, Montemor-o-Novo, Vendas Novas, Coruche e Chamusca.

## 5.9 Análise de áreas de previsão com áreas de expansão

### 5.9.1 *Kriging* produção de pinha e área de expansão – Pinheiro manso

Ao cruzar o Grupo 1 com a classe mais elevada do SK6 (WTP1) verificamos que em 2007 o Pinheiro manso ocupava cerca de 23196 ha, 42% do total de Pinheiro manso da área de estudo (figura 26). Na classe intermédia (WTP2) abrangia 29329 ha (52%); e na classe que apresentou menor valor de previsão no *kriging* (WTP3), o Pinheiro manso representava 3558 ha (6%). Ao analisar estes resultados podemos verificar a influência da localização geográfica na produção. Visto que, apesar da classe mais elevada da produção não representar a maior ocupação de uso do solo de Pinheiro manso, esta apresentou melhores resultados de previsão de produção de pinhas.

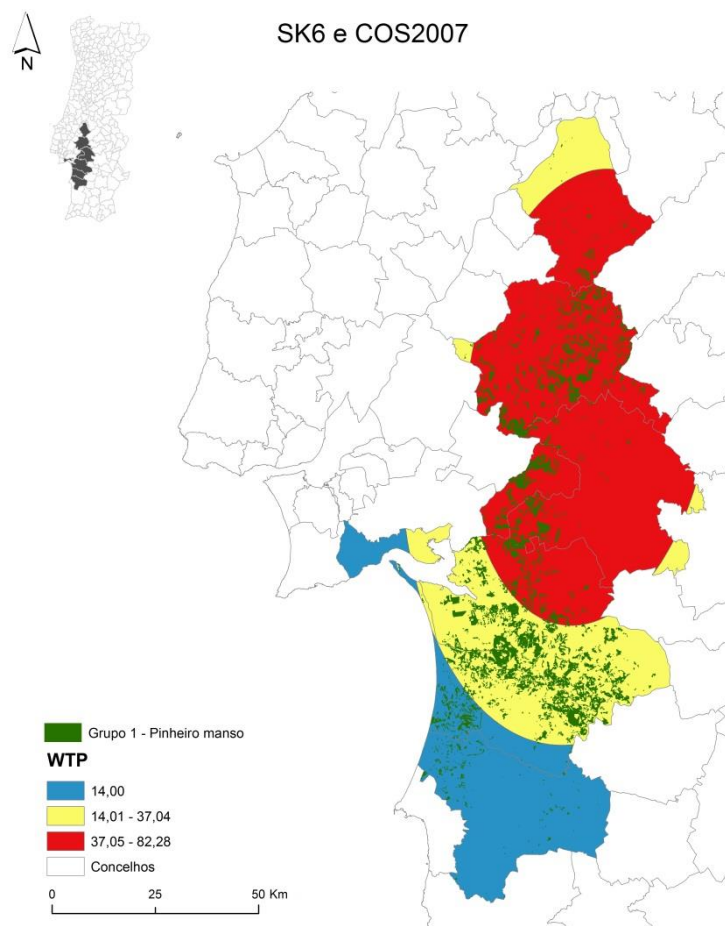


Figura 26 – Cruzamento *kriging* produção de pinha e área de expansão – Pinheiro manso (COS2007)

### 5.9.2 *Kriging* produção de pinha e área de expansão – Matos; Cortes Rasos; Vegetação Esclerófito.

Se expandirmos a área de Pinheiro manso ao Grupo 2 - Matos; Cortes Rasos; Vegetação Esclerófito; conseguimos um aumento da área de cerca de 4844 ha na WTP1; 1969 ha na WTP2 e 935 ha na WTP3, perfazendo um total de área possível de expansão do Pinheiro manso de 7748 ha, representando um aumento de 14% em relação à área existente em 2007 para esta espécie (figura 27).

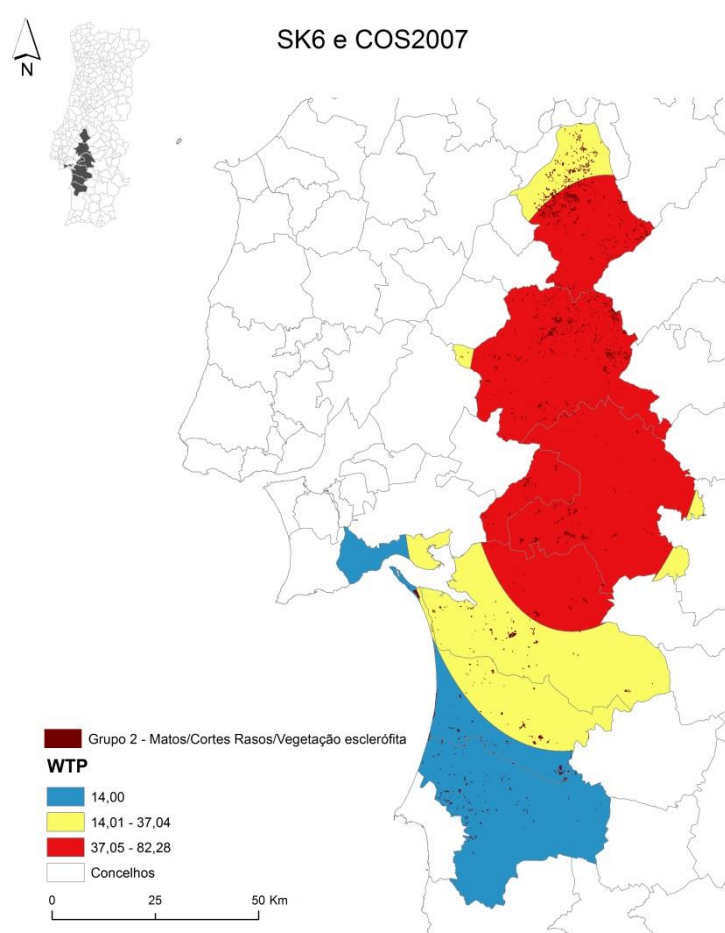


Figura 27 – Cruzamento *kriging* produção de pinha e área de expansão – Matos; Cortes Rasos; Vegetação Esclerófito.



### 5.9.3 *Kriging* produção de pinha e área de expansão – Pastagens

Com a expansão do Pinheiro manso para o Grupo 3, das Pastagens, obtemos um aumento de 28170 ha para a WTP1. No entanto, na memória descritiva da COS2007 é referido que a presença de árvores florestais nas áreas de pastagens pode verificar-se desde que com um grau de coberto inferior a 10%. Deste modo, apenas conseguimos utilizar cerca de 2817 ha da área das pastagens (aumento de 5%). Ao abranger as outras classes WTP2 e WTP3 consegue-se um incremento total de 6232 ha, cerca de 11% (figura 28).

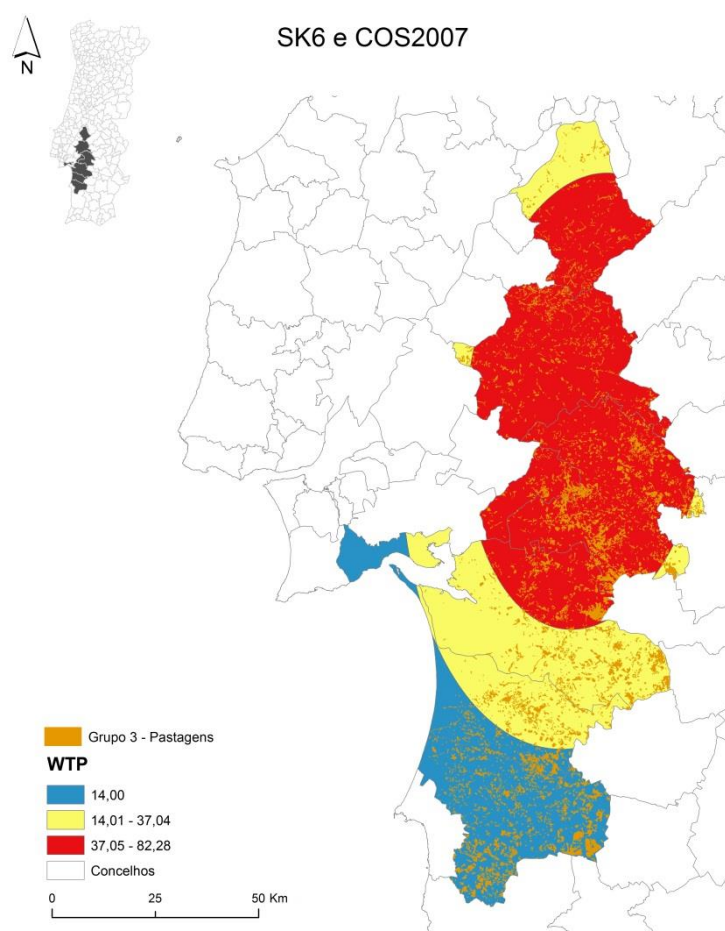


Figura 28 – Cruzamento *kriging* produção de pinha e área de expansão – Pastagens.

### 5.9.4 *Kriging* produção de pinha e área de expansão – Pinheiro bravo



Com o declínio do Pinheiro bravo devido principalmente ao Nemátodo-da-madeira-do-pinheiro, consideramos a possível expansão do Pinheiro manso para a área ocupada em 2007 pelo Pinheiro bravo (Grupo 4) e assim conseguir um acréscimo de 8813 ha (16%) na área de previsão de maior produção de pinha – WTP1, e um total de cerca de 34705 ha na área total da amostra, que representa um aumento significativo de 61% (figura 29).

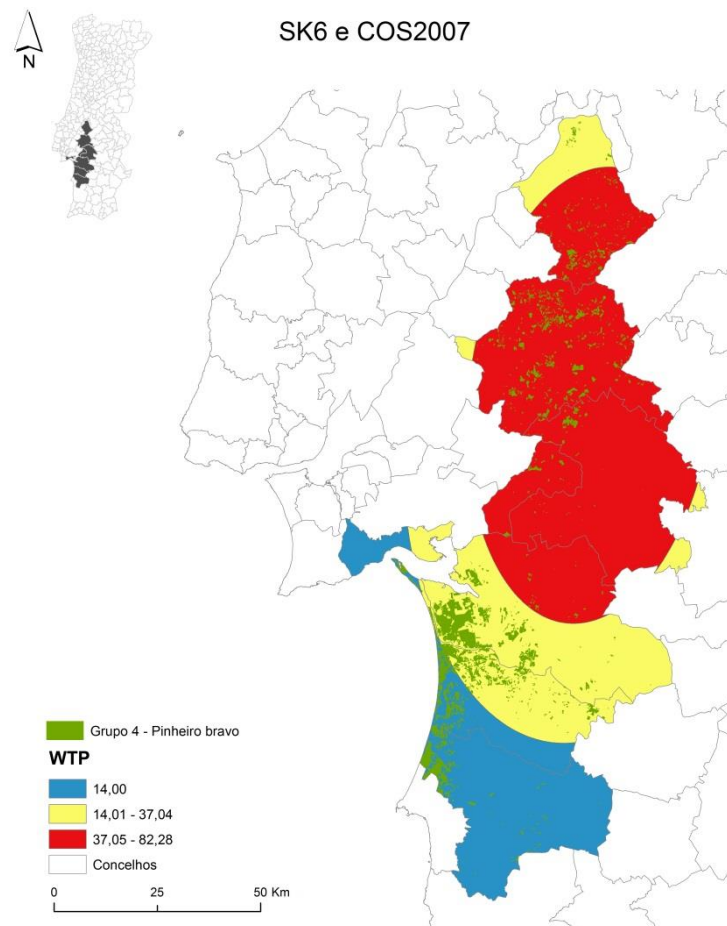


Figura 29 – Cruzamento *kriging* produção de pinha e área de expansão – Pinheiro bravo.

#### 5.9.5 *Kriging* produção de pinha e área de expansão – Áreas mistas de folhosas e resinosas

No Grupo 5 consideraram-se as áreas mistas de folhosas e resinosas, em que as resinosas são substituídas e as folhosas inalteradas. Segundo a memória descritiva da

COS2007 consideram-se florestas mistas como “Florestas compostas por uma mistura de folhosas e resinosas, em que nenhum dos dois tipos de árvores representa 75%, ou mais, do coberto florestal”, deste modo seria necessário um estudo mais aprofundado com trabalho de campo para verificar as áreas possíveis para expansão do Pinheiro manso. Apenas de modo indicativo, o Grupo 5 apresenta uma área de cerca de 12098 ha, na classe de maior previsão de WTP. Se considerarmos 75% desta área conseguimos uma área de expansão de Pinheiro manso de cerca de 9073 ha, representando um aumento de 16%. Se expandirmos para a classe WTP2 conseguimos abranger uma área de 2457 ha; e na WTP3 1535 ha; perfazendo um total de 13067 ha, para as três classes (figura 30). Atingindo um aumento de 23% para o Pinheiro manso.

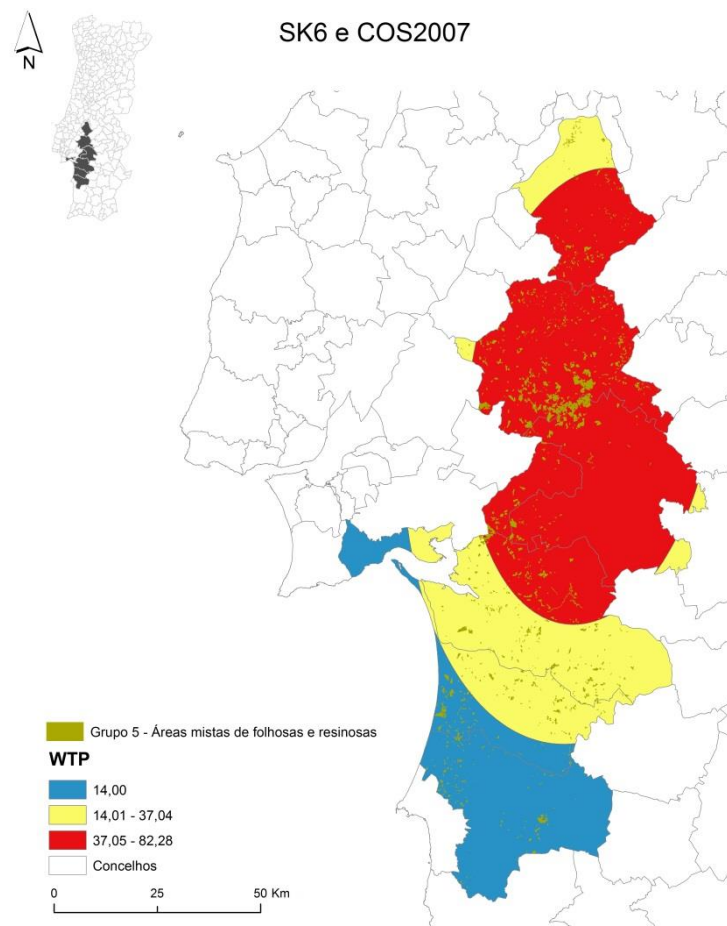


Figura 30 – Cruzamento *kriging* produção de pinha e área de expansão – Áreas mistas de folhosas e resinosas.

### 5.9.6 *Kriging* produção de pinha e área de expansão – Sistemas Agroflorestais

O Grupo 6 – Sistemas Agroflorestais representa uma área de 8350 ha na área da classe de maior previsão para produção de pinha (aumento de 15%), tal como para o Grupo 5, seria necessário um trabalho de campo exaustivo para o estudo da implantação de Pinheiro manso nestas áreas. No total das três classes do *kriging* conseguia-se uma área de 10443 ha para o Grupo 6, representando um aumento de 19% de área para Pinheiro manso (figura 31).

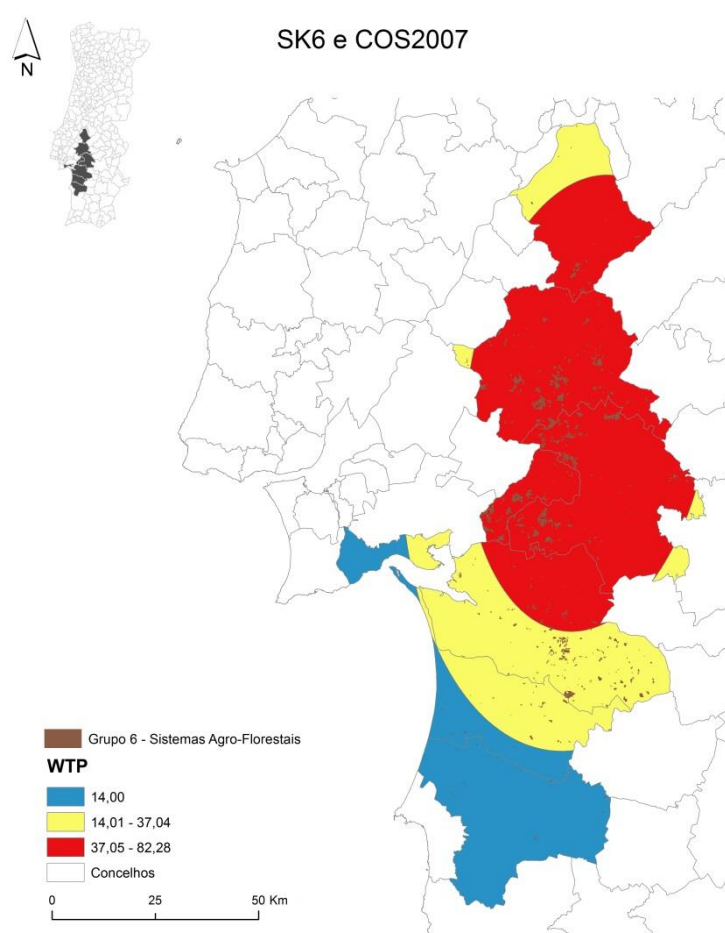


Figura 31 – Cruzamento *kriging* produção de pinha e área de expansão – Sistemas Agroflorestais.

### 5.9.7 Kriging produção de pinha e todas as áreas de expansão

No total do cruzamento da classe com maiores valores de previsão da WTP com os Grupos definidos da COS2007, consegue-se um incremento de cerca de 56396 ha, representando um aumento de 100% da área existente de Pinheiro manso na COS2007 (figura 27). Se expandirmos para a classe intermédia de previsão de WTP atingimos os 111285 ha. No conjunto dos seis Grupos COS2007 e das três classes de previsão de WTP atinge-se um total de 128278 ha para área de expansão do Pinheiro manso (figura 32).

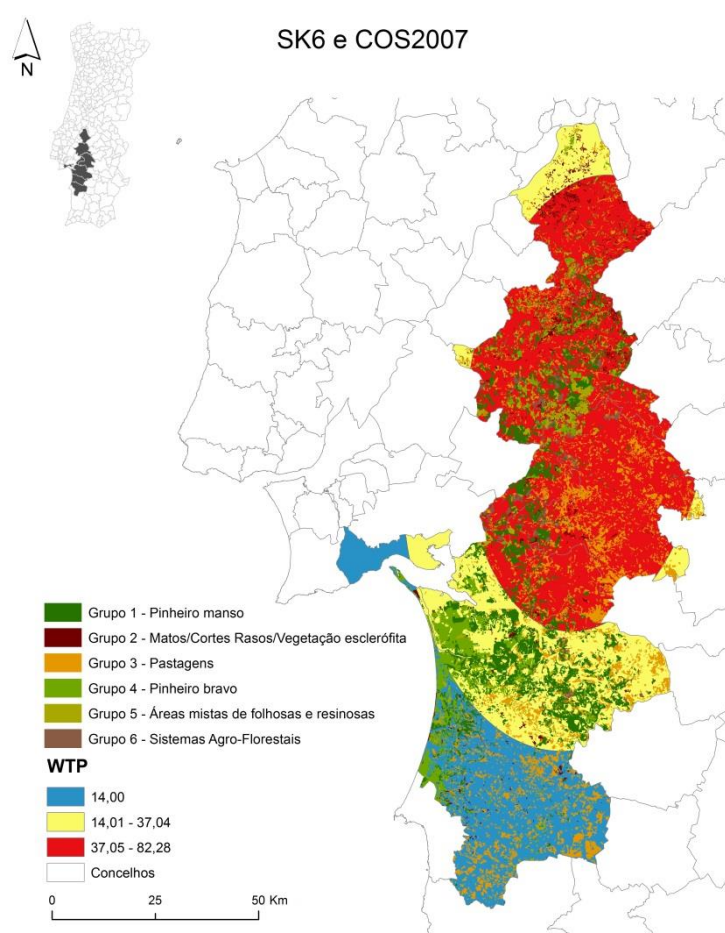


Figura 32 – Kriging produção de pinha e todas as áreas de expansão.

Para as áreas totais dos PROF, abrangidos pela área da amostra em estudo é esperado um incremento de cerca de 130 mil hectares de área de Pinheiro manso para 2030 (tabela 10).

Tabela 10 – Especialização do território. Áreas de ocupação previstas em 2030, unidades de 10 mil hectares (ENF, 2006).

	PROF Ribatejo	PROF AML	PROF Alentejo Litoral	PROF Alentejo Central
Pinheiro Manso	2	2	7	2

## Conclusões

Esta dissertação abordou a aplicação de SIG e geoestatística, a um tema atual e necessário no território nacional – a gestão florestal.

A metodologia apresentada nesta dissertação permitiu produzir mapas de previsão de produção de pinha em Pinheiro manso, para os oito concelhos das parcelas da amostra.

É possível concluir através dos resultados obtidos que com amostras não muito extensas é possível elaborar modelos preditivos, com a extensão necessária no território em estudo. É de salientar que não existe termo de comparação com outros estudos devido à falta de informação de carácter geográfico.

Em termos de localização geográfica é possível interpretar através da aplicação de parâmetros biométricos do pinheiro, tais como, a área basal, a largura de copa e a altura, que por meios de cálculo de interpolação espacial - *krigings*, que a área de produção florestal é afetada, mais concretamente apresenta variabilidade na produção de pinha.

Os SIG poderão ser uma ferramenta para o futuro do planeamento florestal sustentável, visto permitir agregar toda a informação necessária. Esta informação possibilita a gestão de recursos de uma forma económica e sustentável, facilitando o trabalho de todos os intervenientes na gestão e planeamento do território.

Nesta dissertação foram realizados 96 *krigings* para as quatro variáveis em estudo, com diferentes parametrizações na extensão *Geostatistical Analyst* do *ArcGis* da ESRI. Foram selecionados 8 *krigings* com base nos critérios de adequação dos modelos e da análise de resultados da predição dos erros - *cross validation*. Este é o último passo do *Geostatistical Analyst Wizard* antes de apresentar o mapa de previsão, e que permite fazer uma escolha informada sobre qual o modelo que apresenta as melhores previsões. Os critérios foram abordados de forma sequencial: 1 – *Root-mean-square* quanto menor melhor; 2 – *Mean prediction error* – com valor perto de zero; 3 - *Root-mean-square standardized* – valor próximo de um; 4 - *Average Standard Error* – valor próximo do *Root mean square*.

O resultado deste estudo apresenta mapas de previsão para a produção de pinha em Pinheiro manso. Onde se analisaram as áreas com maior e menor probabilidade de produção e também se realizaram análises de comparação de variáveis.

Os principais resultados apurados são: para a largura de copa (Cw) a classe com valores mais elevados ocupa 40% da área em estudo; os valores mais altos de altura (h) ocupam 20%; a área basal (GT) representa 25% da área de estudo na classe com valores mais altos.

No cruzamento dos resultados dos *krigings* das variáveis das árvores (Cw e h) e de parcela (GT) com a variável da produção (WTP), coincidem com os resultados do estudo “Linear Mixed Modelling of Cone Production for Stone Pine in Portugal” (Rodrigues, A. et al. 2014), que refere que, de um modo geral, árvores maiores com maiores larguras de copa e uma densidade mais baixa na parcela são as que apresentam valores maiores de produção.

A sobreposição da largura de copa (Cw) com a produção de pinha (WTP) ocupa cerca de 17% da área de estudo. A área em que tanto a WTP como a h apresentam os valores mais altos das classes dos *krigings* representa cerca de 9% da área total. Para a área basal (GT) que representa a densidade na parcela no cruzamento com a WTP, acontece o fenómeno oposto das variáveis anteriores, as classes dos *krigings* mais elevadas das duas variáveis não têm qualquer intersecção, o que coincide com o estudo referido anteriormente. Neste caso, são as classes mais baixas de GT que se sobrepõem à classe mais elevada de WTP.

Através da intersecção de todas as variáveis com a WTP, podemos concluir que os concelhos com maiores áreas de probabilidade de produção de pinha em Pinheiro manso da área de estudo são Alcácer do Sal, Montemor-o-Novo, Vendas Novas, Coruche e Chamusca.

Por fim, com a realização do cruzamento dos resultados obtidos dos *krigings*, nomeadamente do SK6 da WTP com a Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007), fornecida pela DGT, realizaram-se mapas de expansão do Pinheiro manso.

Verificamos que em 2007 o Pinheiro manso ocupava cerca de 42% na classe de produção com valores mais elevados (WTP1). Na classe intermédia de produção (WTP2) abrangia 52%; e na classe que apresentou menor valor de previsão no *kriging* (WTP3), o Pinheiro manso representava 6%. Ao analisar estes resultados podemos verificar a influência da localização geográfica e da densidade na produção. Visto que, apesar da classe mais elevada da produção não representar a maior ocupação de uso do solo de Pinheiro manso, esta apresentou melhores resultados de previsão de produção de pinhas.

Nas áreas de expansão conseguimos atingir aumentos na ordem dos 11% e dos 61%, dos grupos 2 a 5. No total do cruzamento da classe com maiores valores de previsão da WTP com os Grupos definidos da COS2007, consegue-se um incremento de cerca de 56396 ha, representando um aumento de 100% da área existente de Pinheiro manso na COS2007. No conjunto dos seis Grupos COS2007 e das três classes de previsão de WTP atinge-se um total de 128278 ha para área de expansão do Pinheiro manso. Superando, deste modo, os valores esperados pelos PROF, abrangidos pela área da amostra em estudo, em que é esperado um incremento de cerca de 130 mil hectares de área de Pinheiro manso para 2030.

Os modelos preditivos dos *krigings* deste estudo podem ser utilizados futuramente como base para estudos sobre a produção de pinha, com recurso a SIG e integração de outra informação geográfica importante para o tema (precipitação, temperatura, altitude, exposição, declive e tipo de solo).

Os resultados obtidos, para além de confirmarem a aplicabilidade e viabilidade das metodologias de SIG na produção florestal, revelam também que a integração da geoestatística constituiu uma boa escolha para a integração de dados estatísticos na análise e na modelação espacial. A gestão florestal caracteriza-se pela sua dimensão espacial, sendo, deste modo, uma componente pertinente na gestão do território.

## **Bibliografia**



- Amaral, M. e Borges, C. (2013). Operacionalização da gestão florestal da mata nacional de Valverde. In *7º Congresso Florestal Nacional Conhecimento e Inovação*.
- Antunes, C., Viegas, D., & Mendes, J. (2011). Avaliação do Risco de Incêndio Florestal no Concelho de Arganil. *Silva Lusitana*.
- Antunes, C., Viegas, D., Mendes, J. (2011). Avaliação do risco de incêndio florestal no Concelho de Arganil. *Silva Lusitana*, 19(2), 165–179.
- Aronoff, S. (1989). Geographic information systems: A management perspective. *Geocarto International*, 4(4), 58–58.
- Baldrige, E. (2004). *Developing Spatially Interpolated Surfaces and Estimating Uncertainty*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Office of Air Quality Planning and Standards.
- Barracosa, P., Ribeiro, M., Gaião, D., & Viana, H. (2013). Implementação de um SIG no planeamento e gestão da avaliação biomecânica e fitossanitária de exemplares arbóreos. In *7º Congresso Florestal Nacional*.
- Bohling, G. (2005). Introduction to geostatistics and variogram analysis. *Kansas Geological Survey*, 20p.
- Calama, R., Gordo, F. J., Mutke, S., & Montero, G. (2007). An empirical ecological-type model for predicting stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production in the Northern Plateau (Spain). *Forest Ecology and Management*, 255(3-4), 660–673.
- Calama, R., Mutke, S., Tomé, J., Gordo, J., Montero, G., & Tomé, M. (2011). Modelling spatial and temporal variability in a zero-inflated variable: The case of stone pine (*Pinus pinea* L.) cone production. *Ecological Modelling*, 222(3), 606–618.
- Caldeira, F., Mestre, S., & Alegria, C. (2013). Os SIG como ferramenta de apoio à gestão sustentável da floresta. In *II Jornada Potencial Técnico e Científico do IPCB*. Castelo Branco: IPCB/CEDER, escola Superior de Tecnologia.
- Carneiro, A. N., D'Alpuim, M. D. S. H., & Carvalho, M. A. V. De. (2007). *Manual Ilustrado de Enxertia do Pinheiro Manso*.
- Carrasquinho, I., Freire, J., Rodrigues, A., & Tomé, M. (2010). Selection of *Pinus pinea* L. plus tree candidates for cone production. *Annals of Forest Science*, 67, 814–814.
- Carrasquinho, I., & Gonçalves, E. (2013). Genetic variability among *Pinus pinea* L. provenances for survival and growth traits in Portugal. *Tree Genetics & Genomes*, 9(3), 855–866.
- Chuvieco, E., Salas, J., & Vega, C. (1997). Remote sensing and GIS for long-term fire risk mapping. *A Review of Remote Sensing Methods*

- Cressie, N. (1990). The origins of kriging. *Mathematical Geology*, 22(3), 239–252.
- Croitoru, L. (2007). How much are Mediterranean forests worth? *Forest Policy and Economics*, 9(5), 536–545.
- Davis, L., Johnson, K., Bettinger, P., & Howard, T. (2001). Forest management: to sustain ecological, economic, and social values.
- Dias, S., Ferreira, A., & Gonçalves, A. (2008). Definição de zonas de aptidão para espécies florestais com base em características edafo-climáticas. *Silva Lusitana*.
- Ducheyne, E. I., De Wulf, R. R., & De Baets, B. (2006). A spatial approach to forest-management optimization: linking GIS and multiple objective genetic algorithms. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(8), 917–928.
- ESRI. (2010). *Geostatistical Analyst Tutorial*.
- EU commission. (2011). *State of Europe's Forests 2011*.
- Ferreira, V., Panagopoulos, T., Andrade, R., Guerrero, C., & Loures, L. (2015). Spatial variability of soil properties and soil erodibility in the Alqueva reservoir watershed. *Solid Earth*, 6(2), 383–392.
- Fu, W., Fu, Z., Ge, H., Ji, B., Jiang, P., Li, Y., e Zhao, K. (2015). Spatial Variation of Biomass Carbon Density in a Subtropical Region of Southeastern China. *Forests*, 6(6), 1966–1981.
- Gomes, P., Lourenço, J., & Starnini, J. M. R. (2013). *Desenvolvimento de um Sistema de Informação e Apoio à Gestão Florestal Baseado em Tecnologia Open Source*.
- Goodchild, M. F. (1992). Geographical data modeling. *Computers & Geosciences*, 18(4), 401–408.
- Goodchild., M. F. (1997). What is Geographic Information Science? *NCGIA Core Curriculum in GIScience*, <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u002/u002.html>, posted October 7, 1997.
- Goovaerts, P. (1999). Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*, 89(1-2), 1–45.
- Griffith, D. A. (1993). Advanced spatial statistics for analysing and visualizing geo-referenced data. *International Journal of Geographical Information Systems*, 7(2), 107–123.
- ICNF. (2015). PROF - Planos Regionais de Ordenamento Florestal.

- IFN6. (2013). *IFN6 - Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental em 1995, 2005 e 2010 - Resultados Preliminares*. Instituto de Conservação da Natureza e da Floresta.
- INE. (2015). Contas Económicas da Silvicultura Em 2013, 1–15.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). *Applied Geostatistics* (Vol. 2). Oxford University Press.
- Johnston, C. (1998). *Geographic information systems in ecology*. (Methods in Ecology). Malden: Blackwell Scientific Publication.
- Johnston, K., Hoef, J. Ver, Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS geostatistical analyst*. Redlands: ESRI.
- Julião, R. P. (1999). Geografia , Informação e Sociedade. *Geoinova - Revista Do Departamento de Geografia E Planeamento Regional*, 95–108.
- Krige, D. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of Chemical, Metallurgical, and Mining Society*
- Krivoruchko, K. (2001). Using linear and non-linear kriging interpolators to produce probability maps. In *Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology*. Cancun.
- Leuangthong, O., McLennan, J. a., & Deutsch, C. V. (2004). Minimum Acceptance Criteria for Geostatistical Realizations. *Natural Resources Research*, 13(3), 131–141.
- Lin, C., Thomson, G., Hung, S.-H., & Lin, Y.-D. (2012). A GIS-based protocol for the simulation and evaluation of realistic 3-D thinning scenarios in recreational forest management. *Journal of Environmental Management*, 113, 440–6.
- Macedo, coord. R. (2006). *Anuário vegetal 2006 = Crop production yearbook*. Lisboa : GPPAA.
- Mar, M. da A. e do. (2015). Protocolo do Centro de Competências do Pinheiro manso e Pinhão.
- Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(8), 1246–1266.
- Moreno, C. S. V. (2009). *APLICAÇÃO DE SIG NO PROCESSAMENTO DO INVENTÁRIO FLORESTAL NACIONAL – CABO VERDE*. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa.

- Næsset, E. (1995). Derivation of a predictive model for production of tree species composition maps at small scales using discriminant function analysis. *Scandinavian Journal of Forest Research*.
- Næsset, E. (1997). Geographical information systems in long-term forest management and planning with special reference to preservation of biological diversity: a review. *Forest Ecology and Management*, 93(1-2), 121–136.
- Neves, N., Freire, M., Dias, S., & Ribeiro, N. (2008). Desenvolvimento e Exploração de um Modelo de Dados Espaciais para Ordenamento Florestal. *Silva Lusitana*.
- PDR2020. (2014). *Programa de Desenvolvimento Rural do Continente para 2014-2020*.
- Pedro, N. e Aranha, J. (2004). Criação de um SIG para gestão de resíduos de pinheiro bravo. In *ESIG 2004 - VIII Encontro de utilizadores de Sistemas de Informação Geográfica*. Oeiras.
- Potter, W., Liu, S., Deng, X., & Rauscher, H. (2000). Using DCOM to support interoperability in forest ecosystem management decision support systems. *Computers and Electronics*
- Reis, R., et al.. (2014). Avaliação das transições de uso e ocupação do solo em Portugal Continental (1980-2010). In *V Encontro de Sistemas de Informação Geográfica - Recursos Agroflorestais e Ambientais*. Castelo Branco: Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- Robertson, G. P., Hutson, M. A., Evans, F. C., & Tiedje, J. M. (1988). Spatial Variability in a Successional Plant Community: Patterns of Nitrogen Availability. *Ecology*, 69(5), 1517.
- Rodrigues, A., Silva, G., Casquilho, M., Freire, J., Carrasquinho, I., Tomé, M. (2014). Linear Mixed Modelling of Cone Production for Stone Pine in Portugal. *Silva Lusitana*, 22(1), 1–27.
- Rogowski, A. S. (1996). Quantifying soil variability in GIS applications: II Spatial distribution of soil properties. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(4), 455–475.
- Roque, N., Ricardo, A., & Antunes, A. (2014). Caracterização biofísica e ecológica dos povoamentos de medronheiro amostrados em Portugal para o estudo da estrutura genética usando ferramentas SIG.
- Rumor, M., McMillan, R., & Ottens, H. (1996). Geographical Information: From Research to Application Through Cooperation.
- Sá, A. (2011). Cartografia de Áreas Queimadas Cartografia de Risco Conjuntural de Incêndio Florestal. In *Simposio Florestal ESRI*. ESRI Portugal.

- Sarmento, E., & Dores, V. (2013). A Fileira Florestal no Contexto da Economia Nacional: A Produtividade e a Especialização Regional. *Silva Lusitana*, 21(ESPECIAL), 21–37.
- Silva, V., & Neto, A. (2013). Proposta de Carta de Aptidão Agrícola e Florestal para Cascais. In *7º Congresso Florestal Nacional*.
- Soares, A. (2000). *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. Lisboa: IST.
- Soares, H. (2011). Fluxo de Informação na Floresta. In *Simpósio Florestal ESRI*. ESRI Portugal.
- Sousa, E. (2011). A fitossanidade. In *Simposio Florestal ESRI*. ESRI Portugal.
- Stewart Fotheringham, A., & Rogerson, P. A. (1993). GIS and spatial analytical problems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 7(1), 3–19.
- Themudo, J., Carneiro, A. (1958). A resinagem : suas vantagens e inconvenientes. Aspectos técnicos e económicos. *Lisboa : Junta Nacional dos Resinosos*.
- Townshend, J., & Justice, C. (1988). Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations. *International Journal of Remote*
- Twery, M. J., Knopp, P. D., Thomas, S. a., Rauscher, H. M., Nute, D. E., Potter, W. D., ... Hoffman, R. E. (2005). NED-2: A decision support system for integrated forest ecosystem management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 49(1), 24–43.
- Vieira, A., Gonçalves, A., Martins, C., & Loureiro, E. (2011). Sistema integrado de informação, em ambiente SIG, aplicado à erosão de solos na sequência de incêndios florestais. *NIGP. Geo-Working Papers*, 3(Numero especial:2011/3).
- Webster, R., & Oliver, M. A. (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists*.
- Woodcock, C. E., Strahler, A. H., & Jupp, D. L. B. (1988). The use of variograms in remote sensing: I. Scene models and simulated images. *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 323–348.

## Webgrafia

DGT. – Portal Igeo <http://www.igeo.pt/DadosAbertos/Listagem.aspx> consultado em 09-04-2015

White paper on Geostatistical analyst in ArcGIS

<http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/geostat.pdf> consultado em 16-05-2015

ICNF - <http://www.icnf.pt/portal/florestas/fileiras/regime-juridico-da-pinha-de-Pinheiro-manso> consultado em 06-09-2015

Protocolo do Centro de Competencias do Pinheiro manso e Pinhão  
[http://www.inia.pt/fotos/editor2/protocolo\\_centro\\_competencias\\_Pinheiromanso\\_pinhao.pdf](http://www.inia.pt/fotos/editor2/protocolo_centro_competencias_Pinheiromanso_pinhao.pdf) consultado em 06-09-2015

Associações Florestais – consultadas em 09/04/2015

<http://www.agroportal.pt/associativismo/associacoes/florestais.htm>

<http://www.apfc.pt/areas.php?aID=52>

<http://www.apasfloresta.pt/servicos/tecnicos/sistemas-de-informaco-geografica>

<http://www.aflobei.pt/conteudos/default.asp?ID=37&IDP=36&P=36>

<http://www.aflomacao.pt/>

<http://www.aflodounorte.pt/site/prestacao-de-servicos/levantamento-de-gps/cartografia-digital.html>

<http://www.aguiarfloresta.org/index.php?pid=2044>

<http://www.ansub.pt/30/servicos.htm>

<http://apfam.home.sapo.pt/>

<http://apfmeg.com.sapo.pt/Atividades.htm>

<http://www.afedv.pt/servi%C3%A7os/servi%C3%A7o-t%C3%A9cnico.html>

<http://www.afcavado.pt/index.php?status=3>

[http://www.aflima.pt/index.php?option=com\\_content&task=view&id=84&Itemid=105](http://www.aflima.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=84&Itemid=105)

<http://www.afvs.ws/apoio-tecnico.html>

[http://www.cedrusviseu.org/novo/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8:gps&catid=1:servicos&Itemid=17](http://www.cedrusviseu.org/novo/index.php?option=com_content&view=article&id=8:gps&catid=1:servicos&Itemid=17)

<http://www.fnafp.pt/index.php/fnafp/servicos>

<http://www.florest.pt/index.php?s=servicos&id=18&subid=23>

[http://www.flopen.org/flopen.php?tab=t\\_servicostecnicos&id=15](http://www.flopen.org/flopen.php?tab=t_servicostecnicos&id=15)

<http://queiro.no.sapo.pt/servicos.htm>

## **Legislação**

Lei n.º33/96, de 17 de agosto. Diário da República, I Série-A, n.º190 - Lei de Bases da Política Florestal.

Decreto-Lei n.º 204/99, de 9 de junho, Diário da República, I Série-A, n.º 133 – Planos Regionais de Ordenamento Florestal.

Lei n.º 68/93, de 4 de setembro, Diário da República - I Série-A, n.º 208 - Lei dos Baldios.

Decreto-Lei n.º 156/2004, de 30 de junho, Diário da República — I Série-A, n.º 152 - Sistema Nacional de Prevenção e Proteção da Floresta Contra Incêndios.

Portaria n.º 1185/2004, de 15 de setembro, Diário da República – I Série-B, n.º 218 - Plano de Defesa da Floresta.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 114/2006, de 15 de setembro, Diário da República – I Série, n.º179 - Aprova a Estratégia Nacional para as Florestas (ENF)

Decreto-Lei n.º 16/2009 de 14 de janeiro, Diário da República – I Série, n.º 9 - Normas Técnicas dos PEIF: Os Planos Específicos de Intervenção Florestal (PEIF).

Decreto-Lei n.º 27/2014 de 18 de fevereiro, Diário da República – I Série, n.º34 - Zonas de Intervenção Florestal (ZIF).

Resolução da Assembleia da República n.º 81/2014, de 1 de outubro, Diário da República – I Série, n.º189 - Orientações em torno da atualização da Estratégia Nacional para as Florestas (ENF).

Resolução do Conselho de Ministros n.º6-B/2015, de 4 de fevereiro, Diário da República - I Série, 1ºSuplemento, nº24 – Atualização da Estratégia Nacional para as Florestas (ENF).

Resolução do Conselho de Ministros n.º 65/2006, de 26 de maio, Diário da República — I Série-B, nº102 - Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios

Decreto-Lei n.º 528/99, de 10 de dezembro, Diário da República — I Série-A, n.º286 - Regulamenta a época de apanha de pinhas de pinheiro-manso (*Pinus pinea* L.)

Decreto -Lei n.º 147/2001, de 2 de maio, Diário da República — I Série-A, n.º101 - Altera o artigo 1.º do Decreto-Lei n.º 528/99 de 10 de dezembro, e permite, a título excecional, que, no ano 2001, o período de colheita de pinhas de pinheiro-manso se prolongue até 1 de maio

Decreto-Lei n.º 205/2003, de 12 de setembro, Diário da República — I Série-A, n.º211 - Transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 1999/105/CE, do Conselho, de 22 de dezembro, relativa à comercialização de Materiais Florestais de Reprodução (MFR), e estabelece as normas gerais aplicáveis à produção e comercialização de Materiais Florestais de Reprodução não abrangidos por esta Diretiva.

Decreto-Lei n.º 77/2015, de 12 de maio, Diário da República — I Série, n.º91 - Aprova o Regime Jurídico de colheita, transporte, armazenamento, transformação, importação e exportação de pinhas da espécie *Pinus pinea* L. (pinheiro-manso) no território do Continente

Portaria n.º 113/2009, de 29 de janeiro, DR n.º 20, Série I – ZIF Calha do Grou

Despacho n.º 22228/2009 de 7 de outubro. DR n.º 194, série II. - ZIF das Ribeiras da Lamarosa e Magos



## Anexos

Tipo de função		Produção lenhosa (milhões de m³/ano)				Produções não lenhosas (milhões de kg/ano)								Proteção (milhares de ha)				Riscos (milhares de ha)		Área (milhares de hectares)		Valor por hectare (euros/ha)		Valor por tipo de floresta (10⁶ euros)	
Tipo de floresta	Espécies	Madeira		armazenamento de carbono	Biomassa para energia	Cortiça	Frutos e sementes	Pastagem (milhões de unidades forrageiras)	Resina	Mel	Cogumelos, aromáticas	Caça (milhões de jornadas)	Pesca (milhões de jornadas)	Orla costeira	Regime hídrico	Desertificação	Biodiversidade	Incêndios	Pragas doenças e invasoras						
		Serração	Trituração																						
Produção lenhosa	Pinheiro bravo	3,4	1,4	1,0	0,2			9,0			2,5	0,4		33	145	66	131	39	69	976	9	1	91	90	
	Criptoméria	0,1		0,2											13						2	11		684	9
	Outras resinosas	0,1									0,1			2	11	3	15	1		27	2	1	84	3	
	Eucalipto	0,1	6,3		0,2					0,2		0,3		1	7	117	75	23	20	672	3	3	136	92	
Multifuncional	Sobreiro				0,4		150	343			1,9	0,3		3	2	331	142	9	178	713			618	440	
	Azinheira				0,2			223			1,2	0,2				423	68	2	92	462			112	52	
	Pinheiro manso	0,1		0,2	0,1			4	33	1,0		0,2		3	25	53	21	0		76			494	38	
	Castanheiro	0,1			0,1			26	18		0,1				1	1	10	1		41	1		830	35	
	Medronheiro							3	7								7	5	1	15			191	3	
	Alfarrobeira							31	4								7	3	0	10			781	8	
Conservação	Carvalhos				0,1			58			0,3				8	4	50		6	131	1		87	11	
	Outras folhosas							29			0,2	6,4		1	24	17	27	3		67	1	1	1507	104	
	Laurissilva														37		37			15	22		130	5	
	Acácia e incenso							9							25		1	1	45	20	1	24	-43	-2	
Matos					1,0			137		3,8	1,2	0,8		3	212	765	487	76		2045			52	107	
Quantidade física		3,9	7,7	1,4	2,3		150	64	861	10	4	7,7	2	6,4	46	510	1794	1072	162	404	5255	35	63		
Valor unitário		40	25	20	20		2,6	0,9	0,15	0,2	2,0	2,8	40	16,5	0,4	0,1	0,03	0,1	-2,3	-0,04					
Valor por tipo de função (10⁶ euros)		156	193	28	46		390	59	126	2	8	22	80	106	18	35	55	66	-378	-16	Valor Total		994		

Anexo 1 – Matriz estruturante do valor das florestas (ENF, 2006)

Espécie	2010	% do total	2030 (min)	% do total	Variação 2010- 2030	2030 (max)	% do total	Variação 2010- 2030
Pinheiro-bravo	714	23%	727	22%	2%	789	22%	10%
Pinheiro-manso	176	6%	202	6%	15%	233	7%	33%
Outras resinosas	73	2%	80	2%	9%	114	3%	56%
Sobreiro	737	23%	748	23%	1%	835	24%	13%
Azinheira	331	11%	331	10%	0%	346	10%	4%
Carvalhos	67	2%	74	2%	10%	94	3%	40%
Castanheiro	41	1%	48	1%	16%	58	2%	40%
Eucaliptos	812	26%	812	25%	0%	812	23%	0%
Outras folhosas	195	6%	217	7%	11%	238	7%	22%
Total	3'147	100%	3'239	100%	3%	3'519	100%	12%

Anexo 2 - Áreas florestais por espécie para os cenários “mínimo” e “máximo”, unidades: 1000ha (ENF, 2015)

Anexo 3 – Tabela Geral de *Krigings*

Ficheiro	Amostra	Tipo de <i>Kriging</i>	Transformação	Variável	Trend Removal	Kernel Function	Lag Size	Semivariograma	Mean Prediction Error	Root-mean square	Average standard error	Root-mean-square standardized
OK10	Parcelas40	Ordinary	None	Cw	None		1186,82	Exponencial	0,10	2,39	2,16	0,99
OK11	Parcelas40	Ordinary	None	Cw	None		1186,82	Gaussian	0,11	2,36	2,17	0,99
OK12	Parcelas40	Ordinary	None	Cw	None		1186,82	Esférico	0,10	2,39	2,27	1,05
OK13	Parcelas40	Ordinary	None	Cw	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	0,10	2,41	2,24	1,06
OK14	Parcelas40	Ordinary	None	Cw	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	0,10	2,43	2,28	1,06
OK15	Parcelas40	Ordinary	None	Cw	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	0,89	2,43	2,27	1,07
OK16	Parcelas40	Ordinary	None	Cw	Second	Gaussian	1186,82	Exponencial	0,08	2,43	2,18	1,07
OK17	Parcelas40	Ordinary	None	Cw	Second	Gaussian	1186,82	Esférico	0,09	2,41	2,25	1,07
OK18	Parcelas40	Ordinary	None	Cw	Second	Exponencial	1186,82	Esférico	0,09	2,43	2,19	1,08
SK10	Parcelas40	Simple	None	Cw	None		1186,82	Exponencial	0,02	2,16	0,09	1,09
SK11	Parcelas40	Simple	None	Cw	None		1186,82	Gaussiano	0,03	2,14	0,09	1,09
SK12	Parcelas40	Simple	None	Cw	None		1186,82	Esférico	0,04	2,15	119,23	1,46
SK13	Parcelas40	Simple	None	Cw	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	0,00	2,36	119,23	1,46
SK14	Parcelas40	Simple	None	Cw	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	-0,02	2,25	119,23	1,46
SK15	Parcelas40	Simple	None	Cw	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	0,00	2,36	117,92	1,47
SK16	Parcelas40	Simple	None	Cw	Second	Gaussian	1186,82	Exponencial	-0,02	2,25	117,92	1,45
SK17	Parcelas40	Simple	None	Cw	Second	Gaussian	1186,82	Esférico	-0,02	2,25	117,92	1,45
SK18	Parcelas40	Simple	None	Cw	Second	Exponencial	1186,82	Esférico	0,00	2,36	4,03	1,18
UK10	Parcelas40	Universal	None	Cw	Second	Gaussian	1186,82	Exponencial	16,57	78,48	142,26	0,97
UK11	Parcelas40	Universal	None	Cw	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	16,40	78,57	134,16	0,97
UK12	Parcelas40	Universal	None	Cw	Second	Gaussian	1186,82	Esférico	16,55	78,48	130,18	0,97
UK7	Parcelas40	Universal	None	Cw	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	16,58	78,48	3,92	0,30
UK8	Parcelas40	Universal	None	Cw	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	16,69	78,51	3,72	0,30
UK9	Parcelas40	Universal	None	Cw	Second	Exponencial	1186,82	Esférico	16,60	78,48	3,92	0,30

Continuação - Anexo 3 – Tabela Geral de *Krigings*

Ficheiro	Amostra	Tipo de <i>Kriging</i>	Transformação	Variável	Trend Removal	Kernel Function	Lag Size	Semivariograma	Mean Prediction Error	Root-mean square	Average standard error	Root-mean-square standardized
OK19	Parcelas40	Ordinary	None	GT			1186,82	Exponencial	-0,14	4,37	2,19	1,09
OK20	Parcelas40	Ordinary	None	GT			1186,82	Gaussiano	-0,15	4,37	2,04	1,16
OK21	Parcelas40	Ordinary	None	GT			1186,82	Esférico	-0,15	4,37	2,04	1,16
OK22	Parcelas40	Ordinary	None	GT	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	0,14	4,03	2,04	1,16
OK23	Parcelas40	Ordinary	None	GT	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	-0,08	4,25	1,93	1,17
OK24	Parcelas40	Ordinary	None	GT	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	-0,07	4,25	1,93	1,17
OK25	Parcelas40	Ordinary	None	GT	Second	Gaussian	1186,82	Exponencial	-0,08	4,25	1,92	1,17
OK26	Parcelas40	Ordinary	None	GT	Second	Gaussian	1186,82	Esférico	-0,08	4,25	66,37	1,03
OK27	Parcelas40	Ordinary	None	GT	Second	Exponencial	1186,82	Esférico	-0,07	4,25	65,83	1,04
SK19	Parcelas40	Simple	None	GT			1186,82	Exponencial	-0,01	4,53	3,50	1,15
SK20	Parcelas41	Simple	None	GT			1186,82	Gaussiano	-0,02	4,76	3,71	1,15
SK21	Parcelas42	Simple	None	GT			1186,82	Esférico	-0,04	4,80	3,67	1,16
SK22	Parcelas43	Simple	None	GT	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	-0,03	3,98	3,67	1,16
SK23	Parcelas44	Simple	None	GT	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	-0,07	4,01	3,67	1,16
SK24	Parcelas45	Simple	None	GT	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	-0,03	3,98	3,36	1,18
SK25	Parcelas46	Simple	None	GT	Second	Gaussian	1186,82	Exponencial	-0,07	4,01	3,36	1,18
SK26	Parcelas47	Simple	None	GT	Second	Gaussian	1186,82	Esférico	-0,07	4,01	3,36	1,18
SK27	Parcelas48	Simple	None	GT	Second	Exponencial	1186,82	Esférico	-0,03	3,98	3,32	1,21
UK13	Parcelas40	Universal	None	GT	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	12,18	60,81	128,05	0,97
UK14	Parcelas40	Universal	None	GT	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	12,18	60,81	126,85	0,93
UK15	Parcelas40	Universal	None	GT	Second	Exponencial	1186,82	Esférico	12,18	60,81	126,61	0,97
UK16	Parcelas40	Universal	None	GT	Second	Gaussian	1186,82	Exponencial	12,18	60,81	116,70	0,81
UK17	Parcelas40	Universal	None	GT	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	12,18	60,81	114,28	0,88
UK18	Parcelas40	Universal	None	GT	Second	Gaussian	1186,82	Esférico	12,18	60,81	110,05	0,68

Continuação - Anexo 3 – Tabela Geral de *Krigings*

Ficheiro	Amostra	Tipo de <i>Kriging</i>	Transformação	Variável	Trend Removal	Kernel Function	Lag Size	Semivariograma	Mean Prediction Error	Root-mean square	Average standard error	Root-mean-square standardized
OK37	Parcelas40	Ordinary	None	h			1186,82	Exponencial	0,04	2,29	0,11	0,94
OK38	Parcelas40	Ordinary	None	h			1186,82	Gaussiano	0,04	2,31	0,11	0,93
OK39	Parcelas40	Ordinary	None	h			1186,82	Esférico	0,05	2,30	0,11	0,90
OK40	Parcelas40	Ordinary	None	h	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	0,00	2,34	0,11	0,94
OK41	Parcelas40	Ordinary	None	h	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	0,00	2,35	0,11	0,91
OK42	Parcelas40	Ordinary	None	h	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	-0,03	2,29	0,11	0,93
OK43	Parcelas40	Ordinary	None	h	Second	Gaussian	1186,82	Exponencial	-0,02	2,33	0,10	0,90
OK44	Parcelas40	Ordinary	None	h	Second	Gaussian	1186,82	Esférico	0,00	2,34	0,10	0,90
OK45	Parcelas40	Ordinary	None	h	Second	Exponencial	1186,82	Esférico	0,00	2,34	0,09	0,93
SK28	Parcelas40	Simple	Log	h			1186,82	Exponencial	0,00	0,09	3,32	1,21
SK29	Parcelas40	Simple	Log	h			1186,82	Gaussiano	0,00	0,09	3,32	1,21
SK30	Parcelas40	Simple	Log	h			1186,82	Esférico	0,00	0,09	3,63	1,20
SK32	Parcelas40	Simple	Log	h	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	0,00	0,09	3,83	1,46
SK33	Parcelas40	Simple	Log	h	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	0,00	0,10	3,82	1,54
SK37	Parcelas40	Simple	None	h			1186,82	Exponencial	8,88	1,99	2,30	1,01
SK38	Parcelas40	Simple	None	h			1186,82	Gaussiano	8,88	1,99	1,99	1,00
SK39	Parcelas40	Simple	None	h			1186,82	Esférico	8,88	1,99	1,99	1,00
SK40	Parcelas40	Simple	None	h	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	-0,03	2,06	2,29	1,01
UK19	Parcelas40	Universal	Log	h	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	-0,01	0,11	93,49	0,71
UK20	Parcelas40	Universal	Log	h	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	-0,01	0,11	92,30	0,63
UK21	Parcelas40	Universal	Log	h	Second	Exponencial	1186,82	Esférico	-0,01	0,11	66,48	1,07
UK22	Parcelas40	Universal	Log	h	Second	Gaussian	1186,82	Exponencial	-0,01	0,11	66,48	1,07
UK23	Parcelas40	Universal	Log	h	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	-0,01	0,11	63,80	1,06
UK24	Parcelas40	Universal	Log	h	Second	Gaussian	1186,82	Esférico	-0,01	0,11	63,80	1,06

Continuação - Anexo 3 – Tabela Geral de *Krigings*

Ficheiro	Amostra	Tipo de <i>Kriging</i>	Transformação	Variável	Trend Removal	Kernel Function	Lag Size	Semivariograma	Mean Prediction Error	Root-mean square	Average standard error	Root-mean-square standardized
OK1	Parcelas40	Ordinary	Log	WTP	None		1186,82	Exponencial	5,98	60,15	2,16	0,94
OK2	Parcelas40	Ordinary	Log	WTP	None		1186,82	Gaussiano	8,33	64,68	2,20	1,02
OK3	Parcelas40	Ordinary	Log	WTP	None		1186,82	Esférico	8,84	62,39	62,20	1,06
OK4	Parcelas40	Ordinary	Log	WTP	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	8,14	64,17	0,11	1,03
OK5	Parcelas40	Ordinary	Log	WTP	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	7,95	64,07	0,09	1,03
OK6	Parcelas40	Ordinary	Log	WTP	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	7,44	60,82	0,09	1,09
OK7	Parcelas40	Ordinary	Log	WTP	Second	Gaussian	1186,82	Exponencial	7,66	61,30	0,09	1,02
OK8	Parcelas40	Ordinary	Log	WTP	Second	Gaussian	1186,82	Esférico	8,57	62,46	0,09	1,10
OK9	Parcelas40	Ordinary	Log	WTP	Second	Exponencial	1186,82	Esférico	8,69	62,59	0,09	1,09
SK1	Parcelas40	Simple	Log	WTP	None		1186,82	Exponencial	5,31	59,23	0,09	1,00
SK2	Parcelas40	Simple	Log	WTP	None		1186,82	Gaussiano	5,28	59,71	3,71	1,10
SK3	Parcelas40	Simple	Log	WTP	None		1186,82	Esférico	5,25	59,15	3,63	1,10
SK4	Parcelas40	Simple	Log	WTP	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	-2,07	64,00	1,99	1,20
SK5	Parcelas40	Simple	Log	WTP	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	-1,85	65,55	2,30	1,09
SK6	Parcelas40	Simple	Log	WTP	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	-0,61	66,57	2,30	0,94
SK7	Parcelas40	Simple	Log	WTP	Second	Gaussian	1186,82	Exponencial	-1,85	65,55	2,29	1,15
SK8	Parcelas40	Simple	Log	WTP	Second	Gaussian	1186,82	Esférico	-1,85	65,55	2,28	0,99
SK9	Parcelas40	Simple	Log	WTP	Second	Exponencial	1186,82	Esférico	-0,61	66,57	1,87	1,10
UK1	Parcelas40	Universal	Log	WTP	Second	Exponencial	1186,82	Exponencial	3,71	75,52	2346,43	1,09
UK2	Parcelas40	Universal	Log	WTP	Second	Exponencial	1186,82	Gaussian	9,63	82,70	92,28	0,66
UK3	Parcelas40	Universal	Log	WTP	Second	Exponencial	1186,82	Esférico	6,58	77,41	63,80	0,93
UK4	Parcelas40	Universal	Log	WTP	Second	Gaussian	1186,82	Exponencial			61,15	1,08
UK5	Parcelas40	Universal	Log	WTP	Second	Gaussian	1186,82	Gaussian	9,47	82,37	4,65	0,55
UK6	Parcelas40	Universal	Log	WTP	Second	Gaussian	1186,82	Esférico	434,23	1894,28	1,05	0,36

